EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA **2015 (155)**

http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

INDICE / *SUMMARY*

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA 2015 (155)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

Presentazione Bollettino AIC n. 155/2015: *Balloon Mapping*
Introduction to AIC Bulletin 155/2015: Balloon Mapping

ANDREA FAVRETTO, GIOVANNI MAURO

Il n.155/2015 del Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia (AIC) è un numero speciale per diverse ragioni.

In primo luogo perché è bilingue: gli articoli sono infatti presentati nella consueta versione italiana alla quale è stata aggiunta (per il momento in questo solo numero), anche quella inglese; un piccolo contributo per proseguire il processo di internazionalizzazione della rivista dell'associazione iniziato da tempo, con la presenza del titolo, del riassunto e delle parole chiave tradotti in inglese all'inizio di ogni articolo; dal n. 153/2015, con la traduzione in inglese delle informazioni editoriali comuni a tutti i bollettini e con la traduzione del titolo della rivista.

In secondo luogo, questo numero è stato finanziato con fondi esterni alla Associazione. Nella fattispecie, si è trattato di un Fondo di Ricerca dell'Ateneo di Trieste (FRA), erogato nel 2012 per la realizzazione di ricerche in campo archeologico con l'ausilio di immagini telerilevate da pallone aerostatico ("*Balloon Mapping* – BM – per l'archeologia"). Non è il primo caso di *external funding* per AIC: al di là del beneficio economico (non disprezzabile, in un momento di congiuntura economica difficile quale quello attuale), si pensa siano di grande importanza le sinergie fra il mondo universitario e quello composito dell'associazione.

Il bollettino è composto da alcuni articoli omogenei per tema trattato (come è stato il n. 153/2015, dedicato al nuovo Sistema di Riferimento Europeo ETRF00).

The 155/2015 Bulletin of the Italian Cartographic Association (AIC) represents a special issue for several reasons.

First of all, because it is a bilingual one. All the papers are written in the usual Italian version plus the English one, which has been added to this issue only. This choice is in line with the process of internationalization undertaken by the Association. In fact, titles, abstracts and keywords of each paper have far back been translated. Furthermore, from the 153/2015 issue, the editorial information and the journal headline have also been translated.

Secondly, this bulletin issue has been externally-funded. A 2012 Trieste University Research Fund (FRA) has been used for this purpose. The fund was assigned for research concerning the application of remote sensed images from tethered line control helium filled balloon to Archeological studies ("Balloon Mapping – BM – for Archeology"). This is not the first case of external funding for AIC. We think this is a positive sign, both from an economic point of view and then because of the useful consequences of a recurring relationship between the university and the AIC.

This bulletin is made up of several papers concerning the same main subject (as in the case of the previous n. 153/2015, dedicated to ETRF00, the new European Coordinate Reference Frame).

Da tempo l'archeologia si avvale proficuamente di immagini aeree per indagare l'estensione di siti conosciuti e per scoprirne di nuovi, attraverso il controllo di eventuali discontinuità della vegetazione e/o dell'aspetto dei terreni nudi visti dall'alto. Una disciplina collegata, appositamente dedicata a questo tema, è infatti sorta (cfr. "Archeologia Aerea"). Gli alti costi delle ricognizioni aeree e la conseguente difficoltà di effettuarle spesso e con uno scarso preavviso temporale (per sfruttare, ad esempio, le condizioni di umidità del terreno legate alla pioggia che segue periodi di prolungata siccità), hanno suggerito di utilizzare sistemi di ripresa dall'alto a basso costo, quali il BM, anche in campo archeologico. Il BM, infatti, tecnica di ripresa ultracentenaria, utilizzata dai pionieri della fotografia a bordo delle mongolfiere per scattare le prime foto dall'alto delle città in Europa e negli Stati Uniti, si è diffuso recentemente come mezzo di controllo ambientale. Il catalizzatore di ciò è stato l'incidente alla piattaforma petrolifera Deepwater Horizon del 20 aprile 2010. Gli abitanti della costa della Louisiana, Mississippi, Alabama e Florida hanno infatti proficuamente utilizzato le riprese da palloni aerostatici frenati (ovvero controllati da terra mediante cavi), per documentare l'inquinamento causato dallo sversamento di petrolio in mare attraverso mosaici di immagini georiferite e mappe tematiche da questi ricavate. Dopo questo tragico evento sono sorte comunità di supporto al monitoraggio ambientale tramite immagini telerilevate, che forniscono in rete strumenti software (in modalità *cloud computing*) e *know how* per l'ottenimento ed il trattamento delle stesse.

Negli articoli presenti in questo numero del bollettino sono riprese ed approfondite le informazioni qui brevemente anticipate in modo da fornire un quadro abbastanza completo dei principali elementi da considerare per chi vuole accostarsi al BM, sia per ciò che riguarda il vettore (pallone aerostatico), che gli apparecchi di ripresa ad esso collegati.

Essendo l'archeologia il campo d'applicazione prescelto, vengono presentati inoltre i primi risultati di alcune investigazioni realizzate nelle provincie di Trieste e Gorizia, in siti di accertata o sospetta presenza di castellieri, i noti villaggi fortificati preistorici di cui sono testimonianza i resti di cinte murarie concentriche (in superficie ed ipogei), generalmente in siti di altura (la

Since long time Archeology usefully uses aerial images in order to investigate the extension of ancient known locations and to discover new ones. Researchers monitor vegetation changes and/or bare soil from above. An Archeology-connected discipline, called Aerial Archeology was born. However, the relevant costs of the flights and the difficulties in organizing them, suggested to use low cost remote sensing systems, such as the BM, also for Archeology.

BM is over one hundred years old and it has been used by the earlier photographers for taking the first pictures of the European and American cities from hot air balloons. Recently, BM has become popular as a method of environmental control. The spark has been the well known Deepwater Horizon oil spill, occurred on April, the 20th of 2010. Soon after the accident, the Louisiana, Mississippi, Alabama and Florida coastline inhabitants successfully used remote sensed images from tethered line control helium filled balloons in order to show the coastline oil pollution in the Gulf of Mexico. For this purpose they built georeferenced image mosaics to derive thematic maps. After this environmental disaster, several communities have been spontaneously created on the Internet. These scientific communities supply software tools (cloud computing), and know-how to take and to process balloon remote sensed pictures.

These aspects are further investigated in the following papers, in order to produce a sort of "how to" for anyone who would like to approach the BM method.

We choose Archeology as field of application and therefore we present here the first outcomes of some BM studies carried out with regard to two areas in Trieste and Gorizia Provinces. These areas are supposed to have been hosted two ancient "Castellieri". The "Castellieri" were prehistoric fortified villages. Nowadays superficial or buried circular surrounding walls, generally in upper places (for defense purposes), are all we can find.

The participation of the Authors to NEXT, the scientific/didactic meeting that took place in Trieste in September, 26th-28th, 2014, has been an important opportunity to demonstrate how to lift up a helium filled balloon, to program the carried camera for continuous shooting and to make a first processing of the taken pictures in the science village set up Piazza Unità in Trieste. This didactic BM activity has provided a dis-

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

cui funzione nel passato era presumibilmente di controllo del territorio limitrofo).

La partecipazione degli Autori, nel settembre 2014, alla manifestazione scientifico/divulgativa NEXT, per dimostrare le modalità di ripresa aerea e di prima elaborazione delle immagini acquisite da BM nel villaggio scientifico allestito in Piazza Unità d'Italia a Trieste, ha fornito un certo numero di immagini telerilevate, riprese in momenti diversi durante le tre giornate della manifestazione. La successiva elaborazione delle immagini con tecniche di statistica spaziale (*point pattern analysis*) ha permesso di verificare le aree maggiormente gradite ai visitatori del villaggio scientifico attraverso la realizzazione di alcune mappe di densità. Pur non essendo strettamente collegato all'applicazione del BM all'archeologia, si è deciso di presentare in questa sede anche il lavoro realizzato a NEXT (che è l'argomento del primo dei tre articoli di questo numero), in quanto i dati di partenza (le fotografie riprese dal pallone), sono stati acquisiti con la strumentazione finanziata dal progetto FRA 2012 su citato e ciò ha permesso di dar conto del lavoro complessivo realizzato con lo stesso fondo.

Nel secondo articolo, più propriamente tecnico, si analizzano limiti e potenzialità della tecnologia BM. Nello specifico, si descrivono dettagliatamente alcuni degli strumenti acquisiti e vengono illustrate anche le scelte operative adottate per rispondere alle diverse esperienze e difficoltà sorte sul campo. In particolare, è presentata una fotocamera modificata per acquisire immagini sensibili alla luce dell'infrarosso vicino.

Nel terzo articolo sono presentate le elaborazioni delle immagini acquisite con BM nei siti di San Polo, presso Monfalcone (Provincia di Gorizia) e di Monte Trmun, presso Caresana (Provincia di Trieste). Gli ortomosaici ottenuti dalle fotografie aeree sono stati trattati con tecniche proprie del telerilevamento (calcolo dell'indice di vegetazione NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* sulle immagini scattate dalla fotocamera sensibile all'infrarosso vicino). Dalla cartografia tematica prodotta si è identificata una discontinuità della vegetazione nel sito del monte Trmun, che potrebbe denunciare la presenza in loco di antiche strutture ipogee.

crete number of remote sensed images, taken at different times during the three-day event. The subsequent image processing activity with techniques of spatial statistics (point pattern analysis), has allowed us to discover which areas were the most visited by means of some density maps. Although this activity was not strictly linked to the application of the BM to Archeology, we decided to report here also the work carried out during the three NEXT days (which is the subject of the first of three papers in this issue), because the photographs taken from the balloon were acquired with the equipment funded by the mentioned 2012 FRA project. This has allowed us to give an overview of the overall work carried out.

The second paper is more strictly technical. It analyzes the limits and the opportunities of the BM technology. Specifically, the paper shows some of the acquired tools and discusses the practical decisions taken to face the different difficulties encountered during the FRA project activity. It also presents the acquired near infrared light sensitive camera and its main technical features.

The third paper shows the processing of images captured by BM in the sites of San Polo, near Monfalcone (Gorizia Province) and Monte Trmun (Caresana - Trieste Province). The photographs taken by the near-infrared sensitive camera have been treated with remote sensing techniques (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). The resulting thematic maps have identified a difference in the vegetation cover in the site of Mount Trmun, that could indicate the presence of some ancient underground structures on site.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA 2015 (155), 7-19

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

DOI: 10.13137/2282-472X/11652

Analisi esplorative delle preferenze dei visitatori di una manifestazione culturale in uno spazio urbano utilizzando il *Balloon mapping* e la statistica spaziale. Il caso di Trieste Next*

Balloon mapping and spatial statistic methods in order to evaluate the visitor preferences during a cultural event in an urban area. The Trieste Next case

Andrea Favretto, Giovanni Mauro

Dipartimento di Studi umanistici – Università di Trieste (afavretto@units.it; gmauro@units.it)

Riassunto

Viene presentata una prima analisi esplorativa di alcune fotografie riprese da un pallone aerostatico, utilizzando la statistica spaziale (***point pattern analysis***). L'obiettivo è stato quello di evidenziare alcune zone di aggregazione delle persone in uno spazio pubblico cittadino, in occasione di una manifestazione a carattere scientifico/culturale, Trieste Next tenutasi a Trieste, tra il 26 ed il 28 settembre 2014. Tra le diverse attività proposte dall'Università di Trieste nel villaggio scientifico di Piazza Unità d'Italia, è stata allestita una postazione esterna ai tendoni, dedicata al ***Balloon mapping***, per la quale si sono organizzati alcuni voli dimostrativi per i visitatori.
Alcuni fotogrammi dalle riprese effettuate sono stati elaborati in modo da ricavarne dei layer vettoriali, riportanti le posizioni dei visitatori in diversi momenti tra gli stand della manifestazione. Da questi ***layer*** vettoriali sono state ricavate delle mappe di densità, utilizzando il metodo statistico denominato ***Kernel Density Estimation*** (KDE). I vari ***layer raster*** di densità sono stati aggregati mediante somma algebrica dei valori dei pixel di ciascun ***layer***. Il risultato è stato quello di ottenere una mappa di sintesi delle aree preferite dai visitatori nel villaggio, che ha evidenziato la presenza alcune aree "calde" (***hot spots***).

Parole chiave

GIS, ***Remote sensing***, ***Balloon mapping***, Trieste Next, Spazi urbani, Mappa di densità, ***Point pattern analysis***, ***Kernel Density Estimation***

Abstract

It is presented an exploratory analysis made on some remote sensed images taken from a helium filled balloon, using spatial statistics (point pattern analysis).
Aim of this paper has been highlighting some aggregation areas in a town square during a scientific/cultural event like Trieste Next (Trieste, September 26th-28th, 2014). Among the different activities organized by the local University in the so called "scientific village" of Unity square, an open air station has been set up. From this Balloon mapping station several demonstration flights have been arranged.
Among the many pictures taken during the flights, some of them have been elaborated, in order to build a series of vector layers, showing the Trieste Next visitors at certain times. Applying the Kernel Density Estimation (KDE) statistic method to this vector layers we have produced some visitor density maps in the Next scientific village of Unity square. Further, the density layers have been aggregated in order to build a synthesis map of the visitor preferred areas in the village (the so called "hot spots").

Keywords

GIS, Remote sensing, Balloon mapping, Trieste Next, Urban areas, Density map, Point pattern analysis, Kernel Density Estimation

* Il lavoro è stato realizzato in piena collaborazione fra i due Autori. Si desidera tuttavia precisare che ad Andrea Favretto si devono i paragrafi 1, 4,5; a Giovanni Mauro i paragrafi 2, 3.

1. Introduzione

L'analisi della densità della popolazione in una data località, misurata in momenti diversi, è un argomento molto caro ai geografi, soprattutto per le implicazioni legate alla pianificazione degli spazi che tali variazioni determinano. Haggett, nel 1972, riporta il classico esempio dei bagnanti sulla spiaggia e ne sottolinea la diversa diffusione nello spazio a seconda dell'ora. Registrare la posizione dei bagnanti sulla spiaggia nei vari momenti della giornata è un problema che può essere affrontato e risolto mediante una mappatura dell'area in questione (o meglio: una serie di mappature della spiaggia in momenti diversi). Le fotografie dall'alto sono in questo caso un buon sistema per ottenere le mappe in modo veloce ed economico (rispetto ad un rilevamento a terra). Più recentemente, le metodologie cosiddette di ricerca visuale sono state oggetto di grande interesse in molti settori delle scienze sociali, compresa la Geografia. La fotografia e/o il filmato non sono più considerate uno strumento per illustrare i risultati di una ricerca bensì il punto focale della ricerca stessa, una sorta di strumento per ragionare e spiegare i luoghi (per approfondire, cfr. ad es., Greiner *et al.*, 2012; Bignante, 2011; Rose, 2013).

Il Telerilevamento è considerato una disciplina recente, in quanto legato principalmente ai satelliti artificiali. Esso, in una sua accezione più vasta, può essere esteso a tutto "l'insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi che permettono di migliorare le capacità percettive dell'occhio e cervello umano, fornendo all'osservatore informazioni su oggetti posti a distanza..." (Brivio *et al.*, 2006). Per questo motivo, quindi, nelle prefazioni storiche di molti testi di telerilevamento, spesso si possono vedere delle curiose foto in bianco e nero, risalenti alla seconda metà dell'ottocento e/o ai primi anni del secolo successivo, che ritraggono i pionieri della disciplina e le loro prime, avventurose riprese dall'alto. Si tratta di mongolfiere, aquiloni e persino piccioni muniti di apparecchi fotografici, che propongono suggestive foto aeree di alcune città europee ed americane[1]. Il volo aereo e, successivamente, quello spaziale hanno decretato il successo della metodologia e le sue importantissime connessioni ed impieghi con la cartografia ed il monitoraggio dell'ambiente (cfr., fra gli altri, King *et al.*, 2007).

Anche l'Italia degli anni a cavallo fra '800 e '900 fu "contagiata" dal virus della fotografia aerea, impiegata anche per i beni archeologici. Possiamo ricordare, a tal riguardo, la Sezione Areostatica del 3° Reggimento del Genio Militare, attiva dal 1885 e potenziata nel 1896 con la Sezione fotografica per lo sviluppo delle foto aeree da pallone (cfr. Castrianni *et al.*, 2012). Furono realizzati in questo periodo i primi lavori di topofotografia dal pallone per il rilievo di platee archeologiche nelle aree di Roma (Foro romano), Pompei e Ostia (Shepard, 2006). Nel 1911 venne addirittura pubblicato un manuale di topofotografia dal pallone, scritto da un militare, il Capitano Cesare Tardivo.

Oltre che per i beni archeologici e quelli ambientali, le riprese dall'alto a bassa quota sono state proficuamente utilizzate anche per lo studio della vita sociale nelle città. Nel suo studio del 1980 l'urbanista americano William White utilizzò anche osservazioni dall'alto (filmati e fotogrammi ripresi da terrazzi e tetti di edifici), per studiare una serie di luoghi pubblici a New York, con lo scopo di indagarne le motivazioni del successo (o insuccesso – cfr. White, 1980 e il filmato di 55 minuti disponibile per la visione presso: https://archive.org/details/SmallUrbanSpaces). Lo storico e critico dell'architettura Vidler afferma che la vista area di una città è l'unico mezzo per sviluppare una visione sintetica del suo spazio sociale (Vidler, 2003).

Pur nei limiti di una visione semplificata, si può dire che le immagini aeree ad alta quota e quelle da satellite vengono generalmente utilizzate per il monitoraggio dell'ambiente e per il controllo della struttura dei centri urbani (si veda per esempio a tal riguardo il tema "urban sprawl e telerilevamento", in: Kumar Jat *et al.*, 2008; Ji *et al.*, 2006; Bhatta *et al.*, 2010; Schneider, 2007); le immagini a bassa quota possono essere utilizzate, oltre

1 In Francia nel 1858 Felix Gaspard Tournachon (detto Nadar) riprese il quartiere Arco di Trionfo-Etoile a Parigi (cfr. Brivio *et al.*, *op. cit.*); in Germania, Julius Neubronner nel 1903 brevettò un sistema che utilizzava dei piccioni per trasportare delle macchine fotografiche di appena 70 grammi, con le quali nel 1909 riprese Dresda (Jensen, 2000); in California George Lawrence riprese le rovine di San Francisco dopo il terremoto del 18 aprile 1906 utilizzando una serie di aquiloni da una nave situata nella baia omonima (Jensen, *op. cit.*).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

che per il controllo del territorio, anche per lo studio di fenomeni sociali, grazie alla possibilità di rilevamento e conteggio dei singoli individui permessa, per l'appunto, dalla prossimità del sensore alla superficie terrestre[2].

Il progressivo abbattimento dei costi legati al vettore (pallone aerostatico e/o drone radiocomandato), unitamente allo sviluppo dei software open source per il trattamento delle immagini (sia in modalità desktop che cloud[3]) ha favorito il sorgere di comunità di ricercatori e/o semplici volontari produttori di informazione geografica (cfr. Goodchild, 2007), che hanno impiegato le immagini aeree e gli strumenti informatici open source senza scopo di lucro per progetti di pubblica utilità. Ad esempio, una comunità molto attiva nel *Balloon mapping* è "Public Lab" (Public Laboratory for Open Technology and Science), sorta nell'estate 2011 per sviluppare e utilizzare strumenti open source e a basso costo al fine di: "generate knowledge and share data about community environmental health" (cfr. il "core public lab program" su http://publiclab.org/about). Uno delle prime attività di Public Lab è stata il monitoraggio dell'area del Golfo del Messico interessata dal disastro ecologico della piattaforma petrolifera Deepwater Horizon nel 2010. Attraverso il contributo di centinaia di volontari, istruiti via web da Public Lab, sono state riprese più di 100.000 immagini aeree della linea di costa colpita dall'inquinamento; queste sono state poi georiferite mediante la piattaforma open source in modalità cloud MapKnitter (http://mapknitter.org/), sviluppata da Public Lab (Mauro, 2014).

Ispirandosi alla bibliografia citata, il contributo prende in considerazione una serie di riprese fotografiche da pallone aerostatico, fatte in occasione di una manifestazione a carattere scientifico e culturale, denominata Trieste Next (Salone europeo della ricerca scientifica), terza edizione, svoltasi tra il 26 e il 28 settembre 2014 presso il capoluogo giuliano. In particolare, si sono elaborate le fotografie del villaggio scientifico allestito in Piazza Unità d'Italia. Durante tre dei voli eseguiti (uno durante il pomeriggio del 26 settembre e due durante la mattina e il pomeriggio del 27 settembre), sono state scattate circa duecentocinquanta foto, che hanno ripreso i visitatori nel villaggio, costituito da cinque tendoni allestiti dall'Università di Trieste e da vari Enti locali. Allo scopo di studiare il comportamento dei visitatori, sulla base delle fotografie aeree, si sono realizzate delle mappe di densità che, accorpate opportunamente, hanno evidenziato alcuni punti caldi, i cosiddetti *hot spot*, di gradimento dei visitatori.

Dopo una sintetica presentazione della manifestazione Trieste Next, viene descritta la metodologia applicata alle immagini, dalla georeferenziazione delle stesse alla produzione delle carte di densità dei visitatori; una mappa di sintesi finale è stata infine realizzata, utilizzando i *layer* relativi alle mappe di densità. Una breve discussione dei risultati raggiunti, l'evidenziazione di alcuni limiti legati ai dati raccolti e i futuri sviluppi delle ricerche concludono il lavoro.

2. La manifestazione Trieste Next e il villaggio scientifico in Piazza Unità d'Italia a Trieste

"Trieste Next – Il Salone europeo della ricerca scientifica" è un'importante manifestazione culturale che si prefigge di promuovere la cultura scientifica fra i giovani. La terza edizione, svoltasi il 26-27-28 settembre 2014, è stata denominata EnergETHIC. Numerosi sono stati gli enti pubblici e privati che hanno promosso e contribuito alla manifestazione, fra i quali si può ricordare il Comune e l'Università di Trieste (cfr. il programma su www.triestenext.it).

La manifestazione si è articolata in una serie di incontri/conferenze organizzati in varie sedi del centro cittadino. In Piazza Unità d'Italia è stato inoltre allestito un villaggio scientifico denominato "Trieste città della conoscenza", costituito da cinque tendoni, all'interno dei quali i vari enti partecipanti hanno organizzato degli spazi espositivi ove alcune loro attività culturali, scientifiche e didattiche collegate al tema della manifestazione erano presentate ai visitatori. Esperienze di laboratorio e attività sul campo sono state proposte al

2 Si parla a tal riguardo di: "Archigesture as a modelling concept for mapping of expressive architectural spaces through gestural and temporal analysis of bodies and objects"; cfr. gli studi di Amir Soltani, dell'Università di Cambridge – http://expressive-space.org/Amir_Soltani.html, fra i quali possiamo ricordare, Soltani, 2013.

3 Una chiara e sintetica definizione del *cloud computing* si può vedere in: Mell P., and T. Grance. 2011.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

pubblico nelle modalità della divulgazione scientifica finalizzate però a un pubblico ampio ed eterogeneo.

Uno schema del villaggio scientifico di piazza Unità d'Italia viene riportato in figura 1. I numeri all'interno dei tendoni corrispondono agli spazi espositivi organizzati dai vari enti e sono spiegati nella legenda della figura. Come si può vedere, l'unico spazio espositivo esterno ai tendoni è il n. 10, relativo al *Balloon mapping* che, per ovvi motivi gestionali, necessita di uno spazio aperto e non può essere organizzato indoor.

Le attività dello spazio espositivo dedicato al *Balloon mapping* sono state quelle di predisporre gli strumenti di ripresa (immissione del gas elio nel pallone aerostatico, montaggio e regolazione della fotocamera) e di realizzare alcuni voli dimostrativi (due o tre per ciascuna giornata). Mediante uno schermo (collegato al computer sul quale le foto sono state trasferite immediatamente dopo il volo), le immagini acquisite sono state mostrate al pubblico, suscitando parecchio interesse. Alle persone che chiedevano maggiori informazioni, sono state illustrate le potenzialità dello strumento, nonché evidenziate le caratteristiche delle immagini, visto che le fotocamere sono dotate di altimetro e GPS (Ronza, 2014).

3. La definizione dell'area di studio e il "preprocessamento" delle immagini acquisite

Le caratteristiche tecniche del vettore (il pallone e le metodologie per il montaggio della macchina fotografica, con i relativi stabilizzatori per favorire l'ortogonalità delle fotografie rispetto al terreno), nonché quelle dell'apparecchio fotografico, sono stati illustrati in Mauro (2015).

Durante i voli dimostrativi, effettuati nelle due giornate del 26 e del 27 settembre, la macchina fotografica è stata fissata al pallone prima mediante una staffa fissa e poi, visti i primi risultati poco soddisfacenti (le fotografie risultanti erano oblique perché fortemente influenzate dalle condizioni del vento), la stessa è stata stabilizzata con il metodo artigianale della bottiglia di plastica (cfr. Mauro, 2015). Durante i voli, la fotocamera è stata programmata mediante intervallometro in modo tale da effettuare uno scatto ogni minuto. La fotocamera (e relativo programma) è stata attivata a livello del suolo, ossia prima di alzare (mediante due cavi di sicurezza) il pallone fino alla quota voluta (circa 100 metri).

Successivamente, in laboratorio, le fotografie registrate sono state per prima cosa visionate, per escludere a priori le immagini riprese in fase di ascesa e discesa del pallone o quelle palesemente non ortogonali al terreno.

In tal modo sono state selezionate 116 immagini (sulle 250 inizialmente acquisite), che riprendono il villaggio scientifico di Piazza Unità ma anche le limitrofe piazze Verdi e della Borsa, nonché parte del lungomare antistante Piazza Unità e parte del Molo Audace[4]. Sebbene non tutte le 116 immagini riprendessero il villaggio scientifico (ma anche le sue immediate vicinanze), si è deciso di georiferire ugualmente tutte le immagini nel sistema di coordinate: "ETRS89 / UTM zone 33N" (codice EPSG[5] 25833); per le elaborazioni del presente lavoro si sono però usate solo le immagini del villaggio scientifico (85 immagini).

Utilizzando come base le foto georiferite, si sono poi disegnati due *layer* vettoriali, uno relativo alla disposizione dei tendoni e l'altro circoscrivente l'area di interesse per le successive elaborazioni (si tratta di un poligono irregolare attorno alle tende), così da delimitare un'area omogenea di riferimento per tutte le immagini. La figura 2 mostra, come esempio del lavoro eseguito per tutte le fotografie, un'immagine del villaggio scientifico, ripresa durante il secondo volo del 27 settembre. L'immagine è stata georiferita e si sono sovrapposti su di essa i due *layer* vettoriali preparati, ovvero quello dei tendoni (con sovraimpresso il riferimento degli enti espositori all'interno di ciascun tendone) e quello dell'area di interesse per lo studio.

4 Le zone vicine al villaggio scientifico sono state riprese in quanto nel corso della manifestazione, partendo dal punto espositivo del Balloon mapping all'interno del villaggio, si portava il pallone sopra le immediate vicinanze a fini dimostrativi, eseguendo brevi passeggiate e direzionandolo dal basso con due cavi di sicurezza.

5 Il database geodetico denominato EPSG (European Petroleum Survey Group), mantenuto aggiornato da OGP (Int. Ass. of Oil and Gas Producers), indicizza e cataloga i Sistemi di Riferimento geodetici (SR) di tutto il globo e ne registra i parametri principali nonché gli algoritmi per le principali trasformazioni di coordinate. L'intero database si può scaricare gratuitamente all'URL: http://www.epsg.org/; in alternativa, per informazioni mirate su un determinato SR, si può effettuare una *query* per codice, tipo o area geografica all'URL: http://www.epsg-registry.org/.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 1 – Il villaggio scientifico: "Trieste città della conoscenza" di Piazza Unità d'Italia
FONTE: Trieste Next (www.triestenext.it)

LEGENDA

SPAZIO n. 1. Italia in Antartide 100 anni dopo Shackleton.
A cura del Dipartimento di Matematica e Geoscienze

SPAZIO n. 2. L'energia nascosta nei cristalli: raggi x, reticoli e struttura di molecole.
A cura del Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche

SPAZIO n. 3. Mitocondri e longevità: le centrali bioenergetiche della cellula.
A cura del Dipartimento di Scienze Mediche, Chirurgiche e della Salute

SPAZIO n. 4. Veicoli elettrici, carsharing e carpooling: il costo economico, il costo ambientale e il consumo energetico di un'automobile.
A cura del Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche.

SPAZIO n. 5. Le affinità energetiche elettive: il fascino della matematica, prima fonte di energia tra ingegneria, decisioni, architettura e arte.
A cura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura.

SPAZIO n. 6. Energia a portata di mano: esperimenti sull'energia degli esseri viventi. A cura del Dipartimento di Scienze della Vita e del Life Learning Center.

SPAZIO n. 7. Architettura e realta' aumentata: esplorazioni virtuali dello spazio. A cura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura.

SPAZIO n. 8. L'energia creativa delle parole: lingue da fantascienza e lingue universali. A cura del Dipartimento di Studi Umanistici.

SPAZIO n. 9. Intellipaths in movimento: percorsi a consumo energetico minimo. A cura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura.

SPAZIO n. 10. Balloon mapping: esperimenti di cartografia attiva. A cura del Dipartimento di Studi Umanistici.

SPAZIO n. 11. Vita di una goccia d'acqua: microalghe e produzione di biomassa. A cura di OGS – Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Sezione Oceanografia (OCE).

SPAZIO n. 12. L'energia della conoscenza.
A cura di Musei Scientifici del Comune di Trieste

SPAZIO n. 13. SISSA per la scuola.
A cura di SISSA-Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati.

SPAZIO n. 14. Ricerca e creatività... a tutta energia! A cura di Elettra Sincrotrone Trieste e Topolino.

SPAZIO n. 15. Esperimenti per tutti: biologia molecolare. A cura di ICGEB-International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology.

SPAZIO n. 15. Carburante dagli scarti della lavorazione del legno. A cura di ICGEB-International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology.

SPAZIO n. 16. Fornello solare: cucinare usando l'energia del sole. A cura di ICTP-The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.

SPAZIO n. 17. Costruisci la macchina solare, la turbina a vento. A cura di Gruppo Pleiadi e Sgulp.

SPAZIO n. 18. Elettronica di inseguimento per tecnologie solari. A cura di Akkutrack.

SPAZIO n. 19. Smart gas e fuel cell: un futuro pulito per le città italiane. A cura di Sofc power e Smartgas.

SPAZIO n. 20. Servizi e strumenti per il trasferimento tecnologico. A cura di VPI – Venice Platform for Innovation and Technology Transfer.

SPAZIO n. 21 (sala Matrimoni). Incontri B2B: ricercatori-imprenditori. A cura di VPI – Venice Platform for Innovation and Technology Transfer.

SPAZIO n. 21 (sala Veruda). Mostre Trieste next 2014.

Infopoint Trieste Next

SPAZIO libri. A cura di Libreria Giunti al punto

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Si sono così ottenuti tre gruppi di immagini georiferite, relativi al volo pomeridiano del 26 settembre (terzo volo della giornata), al volo meridiano del 27 settembre (primo volo) e al quello pomeridiano del 27 settembre (secondo volo). Le immagini relative agli altri voli non sono state utilizzate in quanto alcune erano molto oblique al terreno e quindi difficilmente georeferenziabili, altre erano state riprese da un'altezza troppo bassa[6]. Per ogni gruppo sono state ulteriormente selezionate le immagini, mantenendo solo quelle nelle quali era totalmente ripresa l'area di studio, con un intervallo temporale tra le stesse di circa 3-5 minuti. Dato che durante i vari voli gli operatori ai cavi di sicurezza si sono mossi nella Piazza (e nei dintorni della stessa), il numero delle immagini si è considerevolmente contratto, per un totale di 20 immagini[7]. Da ciascuna foto georiferita è stato ricavato un *layer* vettoriale di punti relativi alla posizione delle persone nella zona scoperta del villaggio scientifico all'interno dell'area di studio. Tali *layer* sono stati costruiti mediante digitalizzazione manuale.

In figura 3, a titolo di esempio, si può vedere uno dei *layer* vettoriali, nella fattispecie quello ricavato da un'immagine ripresa alle 16.13 del secondo volo del 27/09.

4. Metodologia e risultati

A partire dai *layer* vettoriali di cui sopra, sono state dapprima elaborate alcune semplici statistiche di base e, successivamente, applicati algoritmi riferibili alla statistica spaziale, utili per l'identificazione delle aree più frequentate (gli *hot spot*) all'interno del villaggio scientifico, "Trieste città della conoscenza".

In tal senso, in Tabella 1 vengono riportate la media e la deviazione standard dei visitatori presenti nella parte aperta dell'area studio durante i tre voli analizzati.

TABELLA 1 – La media e la deviazione standard dei visitatori presenti nella parte aperta del villaggio scientifico durante i tre voli

	3 volo 26/09 16.58-17.30	1 volo 27/09 11.00-11.30	2 volo 27/09 16.10-16.40
Media	189	169	270
Dev. St.	18	34	20

Utilizzando il metodo della stima della densità del kernel (*Kernel Density Estimation* – KDE), da ciascun *layer* vettoriale è stata ricavata una corrispondente 'mappa di densità' dei visitatori. Tale metodo, come è noto, stima una funzione di densità sulla base delle osservazioni campionarie ed è molto utilizzato in statistica e, più recentemente, in alcune sue applicazioni territoriali (*point pattern analysis*). Esiste una nutritissima bibliografia sulle applicazioni di KDE a distribuzioni statistiche univariate e multivariate (cfr. fra gli altri, Silverman, 1986); relativamente di recente, con KDE è stata focalizzata anche la componente spaziale (Danese *et al.*, 2008), sia prendendo in considerazione uno spazio omogeneo (cfr., ad es., Chainey *et al.*, 2013), che uno non isotropico, influenzato da una rete di comunicazione (cfr.: Borruso, 2005 and 2008).

Come è noto, le scelte possibili, applicando KDE a un *layer* vettoriale di punti, sono relative alla funzione del kernel, all'ampiezza del raggio attorno al quale viene calcolata la densità (*bandwidth*) e alla misura della cella della griglia che viene sovrapposta al *layer* vettoriale e attraverso la quale viene disegnata la densità. Come scrive Borruso (2008), molti Autori sottolineano che il parametro più importante da scegliere sia la *bandwidth*; esistono infatti diversi metodi quantitativi per la determinazione di tale parametro (cfr.: Turlach, 1993; Jones *et al.*, 1996). La risoluzione della griglia è considerata invece meno importante ed è generalmente collegata alle caratteristiche del caso allo studio (Danese *et al.*, *op. cit.*). Per quanto riguarda la funzione del kernel, ancora Borruso (*op. cit.*, 2008) afferma che kernel di tipo

6 Nello specifico si fa riferimento alle immagini acquisite durante i primi due voli del 26 settembre, effettuati senza una stabilizzatore dell'apparecchio fotografico, e del terzo volo del 27 settembre, fatto in notturna e inficiato da un problema ai cavi di sicurezza del pallone aerostatico.

7 Alla fine, per il terzo volo del 26 settembre sono rimaste 8 immagini (coprenti circa il periodo temporale 16.58-17.30); per il primo volo del 27 settembre, 5 immagini (periodo circa 11.00-11.30); per il secondo volo del 27settembre, 7 immagini (periodo circa 16.10-16.40).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 2 – Un'immagine del villaggio scientifico, (secondo volo del 27 settembre). Sovrapposti, si possono vedere due *layer* vettoriali: quello dei tendoni con sovraimpresso il riferimento degli enti espositori all'interno di ciascun tendone e quello dell'area di interesse per lo studio

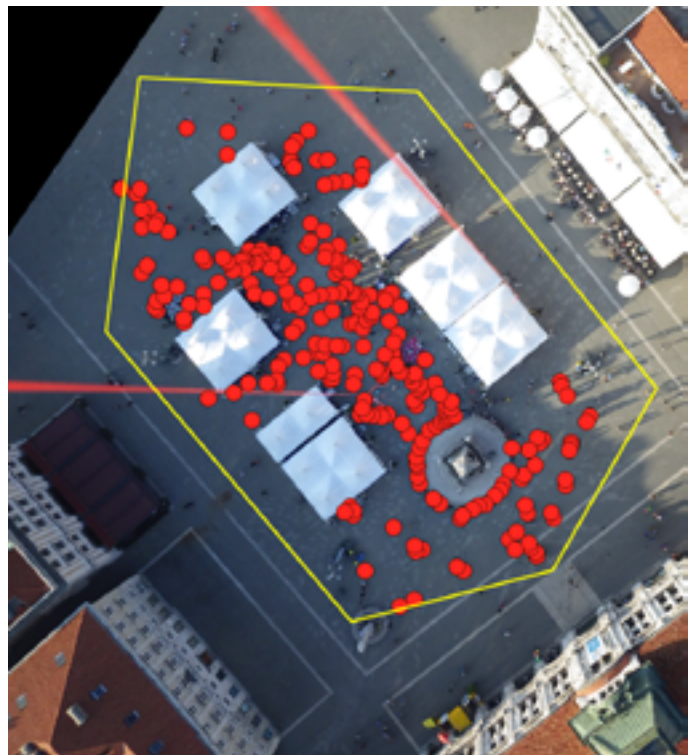



FIGURA 3 – Esempio di *layer* vettoriale dei punti relativi alla posizione delle persone nella zona scoperta del villaggio scientifico, all'interno dell'area allo studio. Il *layer* di punti è stato ricavato da un'immagine ripresa alle 16.13 del secondo volo del 27/09

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

uniforme o quartico tendono a produrre superfici morbide, mentre kernel triangolari e funzioni esponenziali negative producono aree più frastagliate, con picchi di discontinuità.

Nel presente lavoro si è cercato di fissare i parametri sulla base delle caratteristiche del caso allo studio, considerando: l'ampiezza dell'area entro la quale sono stati rilevati i visitatori (circa 2600 m^2); le dimensioni reali dei vari punti di osservazione (ovvero lo spazio occupato da ogni singola persona nel villaggio scientifico ripreso dall'alto); infine, la distanza media osservata dei visitatori a terra nei tre voli considerati[8]. Ciò premesso, la *bandwidth* è stata fissata a 3 metri, considerando:

- l'ampiezza dell'area allo studio – circa 2600 metri quadrati;
- la distanza media osservata – circa 1 metro;
- la dimensione del punto sul terreno (ovvero l'occupazione dello spazio di una persona);
- l'ampiezza della cella della griglia, circa 1.2 metri (considerata ancora la distanza media osservata).

La funzione del kernel scelta è stata di tipo quartico, in modo da produrre una mappa di concentrazione più morbida nei suoi cambiamenti di densità.

In figura 4 si può vedere, a titolo di esempio, la mappa di densità realizzata sulla base del *layer* vettoriale di figura 3 (definito, come si ricorderà, su un'immagine ripresa alle 16.13 del secondo volo del 27/09). I valori di densità sono visualizzati in tonalità di bianco-grigio-nero e sono compresi nell'intervallo fra 0 – colore bianco e 5.27 – colore nero. Il significato dei valori dell'intervallo è il seguente: ogni cella di 1.2 metri di lato ha una densità stimata di persone (calcolata in base al raggio di 3 m con il kernel quadratico attorno a ciascun punto), che va da 0 a 5 persone.

Si è deciso di non classificare il *layer* di densità principalmente per la modesta dimensione dell'area allo studio che quindi, anche se circostanziata in ogni suo pixel di riferimento con il valore di densità stimato, non avrebbe portato a un incremento significativo di informazione rispetto al contributo visivo delle varie tonalità di grigio spalmate sulla piazza. Inoltre, dato il numero dei visitatori evidenziato da ciascun fotogramma (sempre meno di 300 unità), si pensa che l'indicazione puntuale di quanti visitatori fossero stimati per ogni metro dell'area sarebbe stata un'inutile precisazione, che nulla avrebbe aggiunto rispetto alla tendenza della densità che la carta rappresenta.

Sulla mappa *raster* sono stati sovrapposti i due *layer* vettoriali, relativi all'area di studio e ai tendoni del villaggio scientifico. Su ogni singolo tendone è stato etichettato il riferimento di ciascun ente che ha organizzato gli spazi espositivi all'interno. Naturalmente si tratta di un'istantanea, che focalizza la densità dei visitatori all'interno del villaggio in un dato momento.

Al fine di verificare la densità dei visitatori in un orizzonte temporale più ampio si sono sommati algebricamente tutti i *layer raster* relativi alle mappe di densità nei tre voli effettuati, ottenendo così tre mappe di densità somma, una per ciascun volo effettuato. La figura 5 riporta le tre carte di densità risultato della somma. I valori assunti dai pixel (e rappresentati dalle consuete tonalità di grigio), essendo la somma delle singole mappe di densità, sono stavolta più elevati e sono:

- 3 volo 26/9/14 (h. 16.58–17.30): $0<x<31$;
- 1 volo 27/9/14 (h. 11.00-11.30): $0<x<22$;
- 2 volo 27/9/14 (h. 16.10-16.40): $0<x<39$.

Dato l'orizzonte temporale piuttosto ristretto di ciascun volo, non si può escludere che nei valori dei vari pixel sia stata conteggiata più volte la stessa persona. Proprio

8 Come è noto, la distanza media osservata è uno dei valori forniti dall'analisi del vicino più prossimo (*nearest neighbour analysis*), uno strumento di analisi presente in molti software GIS (cfr., fra gli altri, ESRI: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//005p0000000p000000; oppure: Ebdon, 1985; Unwin, 1996). Essendo ipotizzato nelle procedure di calcolo di tale analisi che i punti allo studio siano liberi di posizionarsi nello spazio e pertanto non ci siano barriere di sorta che interdicono alcune zone nell'area allo studio, si è deciso di non utilizzare l'indice di vicino più prossimo, che pur si è calcolato per ciascun *layer* vettoriale dei visitatori e che aveva assunto valori tali da suggerire l'esistenza di cluster nella distribuzione dei punti nello spazio (indice sistematicamente <1). Questo per la presenza dei tendoni all'interno del villaggio, che impedivano di vedere i visitatori al loro interno, così diventando una sorta di barriera architettonica. La distanza media osservata (ovvero la sommatoria delle varie distanze dal punto via via preso in esame e il suo vicino più prossimo diviso per la numerosità dei punti), per ogni singola immagine nei tre voli considerati è stata sempre compresa circa fra 0.80 e 1.4 (con Z_score compreso fra -17 e -10). Ciò ha suggerito il valore che è stato fissato per la singola cella della griglia.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 4 – Esempio di mappa di densità realizzata sulla base del *layer* vettoriale di figura 3. I valori di densità sono visualizzati in tonalità di bianco-grigio-nero e sono compresi nell'intervallo fra 0 – colore bianco e 5.27 – colore nero

per questo motivo i valori dei pixel possono suggerire un elemento che quelli relativi le varie istantanee non avevano: una sorta di gradimento della zona, espresso dalla permanenza del punto nella stessa area. Purtroppo è impossibile scindere i due elementi che danno un valore più elevato al singolo pixel (nuovi visitatori nel tempo o permanenza dei vecchi in loco). Ciò nonostante, le varie tonalità di grigio delle mappe di densità possono esprimere una sorta di gradimento dei visitatori per le varie zone del villaggio.

Osservando le tre mappe di figura 5, alcune aree di aggregazione sono visibili:

- l'area attorno al perimetro circolare della Fontana dei Quattro continenti (monumento posto a margine del villaggio scientifico) e quella tra la fontana stessa e il tendone dell'Università di Trieste (è evidentemente il canale di accesso/uscita maggiormente utilizzato dai visitatori);
- l'area antistante alla postazione del *Balloon mapping*;
- l'area antistante lo spazio libri;
- una certa concentrazione di visitatori si nota anche davanti al tendone universitario nel solo giorno 27 (mattina e pomeriggio);
- il pomeriggio del 26 davanti al tendone misto ICGEB e altri;
- il pomeriggio del 27 davanti al tendone misto OGS e altri;
- il pomeriggio del 27, l'area tra il tendone misto OGS e altri e quello di Sincrotrone (secondo canale di accesso/uscita dei visitatori).

È stata infine costruita, sempre mediante somma, una mappa di densità finale, sintesi di tutto il lavoro svolto (figura 6); tale mappa è il risultato dell'aggregazione di tutti i *layer* di densità finora prodotti. Come si può vedere, si sono stavolta omesse le etichette dei tendoni, per permettere una miglior analisi visiva. I valori dei pixel

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 5 – Le tre mappe di densità risultato della somma algebrica dei pixel delle mappe di densità nei tre voli effettuati. I valori di densità sono visualizzati in tonalità di bianco-grigio-nero e sono: 3 volo 26/9/14 (h. 16.58–17.30): 0<x<31; 1 volo 27/9/14 (h. 11.00-11.30): 0<x<22; 2 volo 27/9/14 (h. 16.10-16.40): 0<x<39

del *layer raster* sono compresi nell'intervallo 6<x<70. Per quanto riguarda questi ultimi, valgono le stesse considerazioni fatte precedentemente nel caso della figura 5.

Osservando la figura 6, possiamo tentare una sintesi finale delle preferenze dei visitatori (nel limite dell'orizzonte temporale coperto):

- l'accesso/uscita preferito è quello a destra della Fontana dei quattro continenti, ovvero dal lato di Piazza Unità che si collega a Piazza della Borsa;
- un'evidente prima area di aggregazione dei visitatori è attorno alla fontana;
- un'altra area è quella davanti al tendone dell'Università Trieste (lato postazione *Balloon mapping* e zona esposizione e vendita borse con il logo dell'ateneo triestino);
- davanti allo spazio libri è evidente, seppur con tonalità meno scure – indicanti minor densità, un'ulteriore area di stanziamento dei visitatori;
- infine, si può notare l'altro canale di accesso/uscita in alto a sinistra (lato rive a sinistra del Molo Audace), minore per densità rispetto a quello del lato Piazza della Borsa.

5. Considerazioni conclusive e applicazioni future

Nella nota si è presentata una prima analisi esplorativa di alcune fotografie riprese da un pallone aerostatico, utilizzando la *point pattern analysis*.

Si è cercato di evidenziare alcune zone di aggregazione delle persone in uno spazio pubblico cittadino in occasione di una manifestazione scientifico/culturale. L'occasione è stata fornita dalla partecipazione degli autori a Trieste Next (Trieste, 26-28 settembre 2014). Nell'ambito delle attività proposte dall'Università di

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

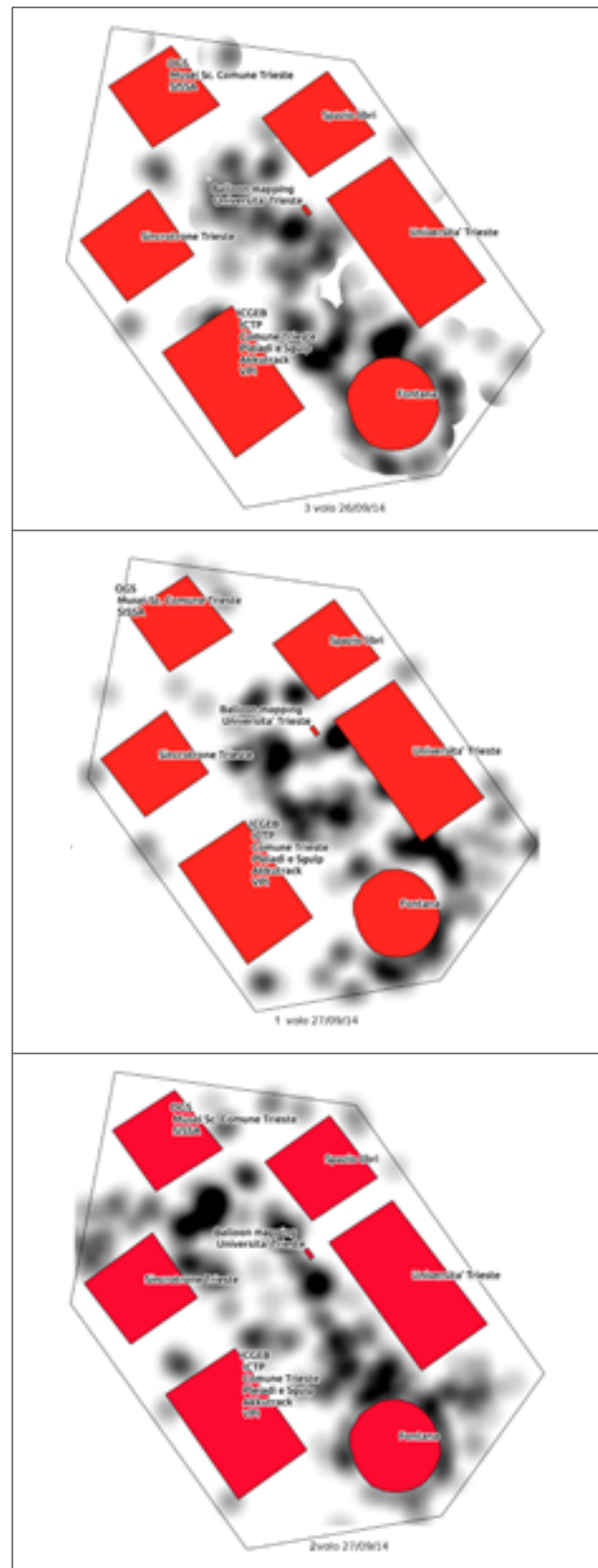
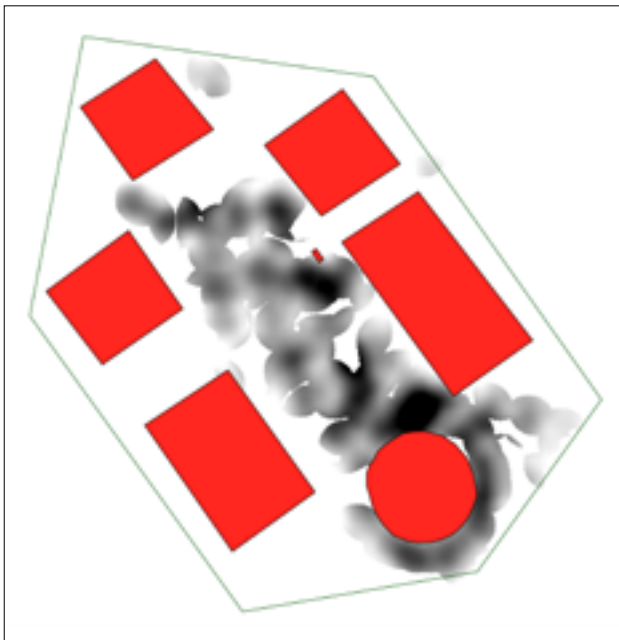



FIGURA 6 – La mappa di densità finale, sintesi di tutto il lavoro svolto, risultato dell'aggregazione di tutti i *layer* di densità. I valori di densità sono visualizzati in tonalità di bianco-grigio-nero e sono compresi nell'intervallo fra 6 – colore bianco e 70 – colore nero

Trieste nel villaggio scientifico di Piazza Unità d'Italia, è stata allestita una postazione esterna ai tendoni, dedicata al *Balloon mapping*, ove alcuni voli dimostrativi sono stati organizzati per i visitatori.

Alcuni fotogrammi dalle riprese effettuate sono stati elaborati in modo da ricavarne dei *layer* vettoriali, riportanti le posizioni dei visitatori in diversi momenti. Da questi *layer* vettoriali sono state ricavate delle mappe di densità, utilizzando il metodo statistico denominato *Kernel Density Estimation* (KDE). I vari *layer raster* di densità sono stati aggregati mediante somma algebrica dei valori dei pixel di ciascun *layer*. Il risultato è stato quello di ottenere una mappa di sintesi delle aree preferite dai visitatori nel villaggio, che ha evidenziato alcune aree "calde" (*hot spots*).

L'analisi effettuata ha evidenziato alcuni limiti della metodologia adottata, riconducibili per la maggior parte ai dati di partenza. Infatti, il fine dell'attività denominata *Balloon mapping*, organizzata dall'Università a Trieste Next, è stato quello di mostrare potenzialità e modalità attuative di tale metodo di ricognizione del territorio, nonché alcune tecniche di tipo GIS che permettono l'utilizzo dei dati così ottenuti. Per questo, durante i diversi voli effettuati nei vari giorni della manifestazione, si è cercato di riprendere, oltre al villaggio scientifico, anche le aree limitrofe della piazza ospitante, effettuando delle vere e proprie "passeggiate" con il pallone aerostatico. Le modalità di georeferenziazione delle varie zone riprese (alle varie altezze e angolazioni determinate dal pallone in movimento), sono state il fine delle passeggiate in questione.

Questo ha limitato notevolmente i dati a disposizione (ovvero il numero delle foto che riprendevano tutta l'area del villaggio scientifico) e, di conseguenza, anche l'intervallo temporale coperto dalle riprese utili ai fini dell'analisi. Il movimento degli operatori nella piazza e la mancanza di un sistema di stabilizzazione della fotocamera (adottato peraltro dopo il primo volo del 26 settembre) hanno, inoltre, determinato la scarsa ortogonalità di alcune foto rispetto al terreno. Se marcatamente oblique rispetto al terreno, le foto venivano scartate, altrimenti erano sottoposte alla georeferenziazione. Ciò ha determinato delle oggettive difficoltà per la rettificazione delle immagini che, alla fine, non hanno avuto tutte la stessa precisione nel posizionamento dei vari pixel rispetto al sistema di riferimento adottato. Questo si è inevitabilmente ripercosso sulla precisione dei punti rilevati al terreno (ovvero la posizione delle persone nel villaggio scientifico) e, conseguentemente, sulla precisione delle mappe di densità.

Ciononostante e considerata la finalità dello studio (evidenziazione di *hot spots* in un'area abbastanza circoscritta, che indicassero le preferenze di massima per l'area vicina a un tendone o a un altro), ci sembra che i risultati raggiunti siano incoraggianti per riproporre la metodologia in altri spazi urbani, cercando di correggere i potenziali fattori di vizio dei dati.

A tal fine il pallone verrà mantenuto fermo nel baricentro dell'area allo studio per un tempo il più lungo possibile (compatibilmente con le condizioni meteorologiche e quelle di luce), in modo da garantire omogeneità delle foto e massima ortogonalità possibile. Quest'ultima verrà inoltre favorita anche dall'adozione di uno stabilizzatore più efficiente rispetto alla bottiglia di plastica, ovvero il metodo picavet (cfr. Mauro, 2015).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

BHATTA B., SARASWATI S., BANDYOPADHYAY D. (2010), "Urban sprawl measurement from remote sensing data", *Applied Geography*, 30, pp. 731-740.

BIGNANTE E. (2011), *Geografia e ricerca visuale, Strumenti e metodi*, Manuali Laterza 318, GLF Editori Laterza, Bari.

BORRUSO G. (2005), *Network Density Estimation: Analysis of Point Patterns over a Network*, in: GERVASI O., GAVRILOVA M.L., KUMAR V., LAGANÀ A., LEE H.P., MUN Y., TANIAR D. (Eds), *Tan Computational Science and Its Applications* – ICCSA 2005, Springer Berlin Heidelberg.

BORRUSO G. (2008), "Network Density Estimation: a GIS Approach for Analysing Point Patterns in a Network Space", *Transactions in GIS*, 12(3), pp. 377-402.

BRIVIO P. A., LECHI G., ZILIOLI E. (2006), *Principi e metodi di Telerilevamento*, Città Studi ed., Torino.

CASTRIANNI L., CELLA E., FORTINI P. (2012), "Boni e il Genio. La nascita della fotografia aerea archeologica", *Forma Urbis*, XVII, 5, pp. 39-44.

CHAINEY S., RATCLIFFE J. (2013), *GIS and Crime Mapping*, John Wiley & Sons.

DANESE M., LAZZARI M., MURGANTE B. (2008), *Kernel Density Estimation Methods for a Geostatistical Approach in Seismic Risk Analysis: The Case Study of Potenza Hilltop Town (Southern Italy)*, in: GERVASI O. (Ed.), *ICCSA 2008*, Part I, LNCS 5072, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

EBDON D. (1985), *Statistics in Geography*, Basil Blackwell, Oxford.

FAVRETTO A., MAURO G., ZACCARIA C. (2015), "Il *Balloon Mapping* per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino, *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 155, pp. 36-51, http://hdl.handle.net/10077/11791.

GOODCHILD M. (2007), "Citizen as Sensors: the World of Volunteered Geography", *GeoJournal*, 69, pp. 111-121.

GREINER A. L., DEMATTEIS G., LANZA C. (2012), *Geografia umana. Un approccio visuale*, UTET, Torino.

HAGGETT P. (1972), *Geography: a Modern Syntehesis*, Harper and Row, London.

JENSEN J. R. (2000), *Remote Sensing of Environment*, Prentice Hall, NJ.

JI W., MA J., WAHAB TWIBELL R., UNDERHILL K. (2006), "Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics", *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, pp. 861-879.

JONES M. C., MARRON J. S., SHEATHER S. J. (1996), "A Brief Survey of Bandwidth Selection for Density Estimation", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 91, No. 433., pp. 401-407.

KING M. D., PARKINSON C. L., PARTINGTON K. C., WILLIAMS R. G. (2007), *Our Changing Planet. The View from Space*, Cambridge University Press.

KUMAR JAT M., GARG P.K., KHARE D. (2008)," Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, pp. 26-43.

MAURO G. (2014), "Strumenti per una cartografia 'attiva': il *balloon mapping*. Limiti e potenzialità in un progetto di ricerca a Trieste", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 151, pp. 4-16, http://hdl.handle.net/10077/10371.

MAURO G. (2015), "*Balloon Mapping* come metodologia low-cost per ricerche geografiche e archeologiche", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 155, pp. 20-35, http://hdl.handle.net/10077/11790.

MELL P., GRANCE T. (2011), *The NIST Definition of Cloud Computing, NIST – National Institute of Standards and Technology*, US Department of Commerce.

RONZA M. (2014), "*Balloon Mapping* a "Trieste Next 2014": esperienze di cartografia attiva", *Bollettino*

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

dell'Associazione Italiana di Cartografia, 151, pp. 105-108, http://hdl.handle.net/10077/10596.

ROSE G. (2013), *Visual Methodologies: An Introduction to Researching with Visual Materials*, SAGE, London.

SCHNEIDER A. (2007), *Monitoring Urban Areas Globally and Locally*, in: KING M. D., PARKINSON C. L., PARTINGTON K. C., WILLIAMS R. G. (Eds.), *Our Changing Planet. The View from Space*, Cambridge University Press.

SHEPARD E. J. (2006), "Il rilievo topofotografico di Ostia dal pallone (1911)", *Archeologia Aerea Studi di Aerotopografia Archeologica*, 2, pp. 15-38.

SILVERMAN, B. W. (1986), *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman & Hall, London.

SOLTANI A. (2013), *Embodied Airborne Imagery: Low-Altitude Urban Filmic Topography*, Springer Publishing.

TARDIVO C. (1911), *Manuale di fotografia-telefotografia: topofotografia dal pallone*, Pasta, Torino.

TURLACH B. A. (1993), *Bandwidth Selection in Kernel Density Estimation: A Review*, CORE and Institut de Statistique, pp. 23-493.

UNWIN D. J. (1996), "GIS, Spatial Analysis and Spatial Statistics", *Progress in Human Geography*, 20, 4, pp. 540-551.

VIDLER A. (2003), *Photourbanism: Planning the City from Above and from Below*, in: BRIDGE G., WATSON S. (Eds.), *A Companion to the City*, Blackwell Publishers Ltd, Oxford.

WHYTE W. H. (1980), *The Social Life Of Small Urban Spaces*, Washington, D.C.: The Conservation Foundation.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA 2015 (155), 20–35

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

DOI: 10.13137/2282-472X/11790

Balloon Mapping come metodologia *low-cost* per ricerche geografiche e archeologiche

A low-cost methodology for geographical and archaeological research: the Balloon Mapping

Giovanni Mauro

Dipartimento di Studi umanistici – Università di Trieste (gmauro@units.it)

Riassunto

L'acquisizione di immagini da bassa quota ha di recente visto gli aeromobili a pilotaggio remoto, più comunemente noti come droni, essere protagonisti di una nuova (e trainante) stagione per questa nicchia di mercato. Tuttavia, in archeologia l'utilizzo di immagini da remoto (acquisite da palloni frenati) è una metodologia che risale alla fine del XIX secolo ed il suo utilizzo è stato di recente riscoperto soprattutto per progetti di monitoraggio ambientale.
Nel presente contributo si analizzano limiti e potenzialità della tecnologia *balloon mapping* (BM), tecnologia che consiste nell'utilizzo di palloni aerostatici gonfiati ad elio e sui quali vengono montate fotocamere digitali, con l'obiettivo di creare cartografia di tipo ***raster*** ad elevatissima risoluzione spaziale. Nello specifico, viene tracciata brevemente la storia di questa tecnologia applicata all'archeologia e la sua recente riscoperta in ambito ambientale. Successivamente si descrivono dettagliatamente alcuni degli strumenti in dotazione ad un progetto di ricerca condotto su siti archeologici posti in prossimità di Trieste. Vengono illustrate anche le scelte operative adottate per rispondere alle diverse esperienze e difficoltà sorte sul campo. Viene quindi presentato MapKnitter, un programma utile per la creazione di ortomosaici, ossia mosaici di immagini 'georiferite'. Vengono in questo modo valutati potenzialità e limiti della tecnologia BM in archeologia, soprattutto in rapporto alla possibilità, ormai più che accessibile da un punto di vista economico, di utilizzare droni.

Abstract

Although recently the drones have become particularly fashionable in order to achieve high spatial resolution images, the balloon mapping (BM) is still a low-cost methodology available to archeological research. Already used for archeological surveys at the end of XIX century, the use of balloon has been now rediscovered (mainly for environmental studies) by Public Lab, an interesting researcher's community for "Open Technology and Science".
In this paper we explain some technical basics about this methodology. We describe BM problems like great sensitivity to the wind conditions or costs of the helium gas, but also BM strengths like long time airborne or use of retrieved old (and heavy) cameras, modified to achieve near Infrared radiation. We also present our 'balloon mapping kit': balloon, control system (wires and winch), suspension systems (the soda bottle rig and Picavet system) and normal or infrared cameras. Then, we introduce to MapKnitter, a free and open source software created by Public Lab, in order to locate and to mosaick BM images. Finally, we compare the drones and BM technology for archeological applications.

Parole chiave

balloon mapping, pallone aerostatico, sistemi di controllo, sistemi di sospensione, fotocamere, archeologia, droni

Keywords

balloon mapping, balloon, control system, suspension systems, cameras, archeology, drones

1. Introduzione

L'acquisizione di immagini da remoto mediante l'utilizzo di vettori eterogenei, dai palloni aerostatici ai satelliti, ha da sempre esercitato un grande fascino sui geografi e, più in generale, su tutti coloro che lavorano sul territorio. Ne è conferma il recente successo degli aeromobili a pilotaggio remoto o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), più comunemente noti come droni, che è andato ben oltre ogni qualsivoglia aspettativa e che ha di fatto costretto i legislatori a definire delle norme per regolarne il loro uso massivo. Com'è noto, la recente evoluzione del mercato dei mini e micro droni ha concretamente favorito questa tecnologia dal prezzo ormai più che accessibile, per i professionisti che intendano utilizzare immagini remote ad elevata risoluzione spaziale. Tuttavia, le difficoltà connesse alla guida di questi strumenti e le restrizioni giustamente imposte dalla recente normativa[1] fanno sì che la scelta degli UAV sia, in parte, ancora problematica.

Il presente contributo prende in esame una tecnologia alternativa per l'acquisizione di foto da remoto allo scopo di creare cartografia ad elevatissima risoluzione spaziale: il *balloon mapping* (BM). Se l'ausilio di palloni sonda per il controllo di alcuni parametri atmosferici (pressione atmosferica, temperatura, umidità, flussi delle correnti aeree, concentrazione dell'ozono in stratosfera, ecc.) è una procedura diffusamente adottata dagli stessi operatori dell'aeronautica, ma anche nell'ambito di alcuni progetti sperimentali[2], l'uso odierno di palloni aerostatici per acquisire immagini remote è decisamente meno consueto. Impiegato agli albori della fotogrammetria anche per scopi archeologici, il suo utilizzo è però stato di recente riscoperto soprattutto per progetti di monitoraggio ambientale realizzati nell'ambito del complesso universo della cartografia partecipativa. In realtà, l'uso di questi vettori nel settore archeologico trova nuovi interessanti sviluppi, soprattutto se si pensa ai possibili raffronti tra le immagini satellitari multispettrali (come, ad esempio, Landsat 8 OLI o Quickbird) e le immagini ad elevata risoluzione da vettore di bassa quota. La sovrapposizione di immagini a diversa risoluzione spaziale e spettrale acquisite ortogonalmente ed il confronto con quelle oblique[3] rappresentano metodologie in grado di esaminare dettagliatamente gli elementi del territorio e la loro distribuzione spaziale.

Numerose sono le motivazioni che hanno indotto un gruppo di ricerca del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Trieste a proporre una rilettura in chiave moderna di questa tecnologia: 1) maggiore flessibilità nella tempistica rispetto ai sensori satellitari, (ciò comporta la possibilità di acquisire le immagini da remoto nelle condizioni che si ritengono più adatte come, ad esempio, in periodi siccitosi o subito dopo un evento piovoso); 2) la possibilità di acquistare fotocamere digitali dotate di strumentazione GPS a prezzi alquanto accessibili; 3) la possibilità di disporre di macchine modificate nella camera di ripresa per realizzare foto ad infrarossi (con relativi studi sulla componente vegetale); 4) una presunta economicità complessiva del sistema.

Nel corso del periodo 2013-2015, la metodologia BM è stata testata per la mappatura di dettaglio su alcuni siti archeologici presenti in prossimità della città di Trieste. In questo articolo vengono brevemente evidenziati potenzialità e limiti di questa metodologia. Dopo aver sinteticamente tracciato gli utilizzi di questa tecnologia

1 Il regolamento dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" (edizione 2 del 16 luglio 2015), pur tenendo distinte due grosse categorie di Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto (SAPR) in funzione del peso (sopra o sotto i 25kg), prevede in ogni caso numerosi requisiti riguardanti sia il veicolo (come ad esempio l'autorizzazione rilasciata da ENAC) che per il suo impiego. In tal senso colui che desideri fare volare un SAPR deve: frequentare un corso teorico presso enti autorizzati e superare il relativo esame; frequentare un corso pratico presso il costruttore del veicolo e, anche in questo caso, superare il relativo esame; essere in possesso di un certificato medico di tipo aeronautico; essere in possesso di un'assicurazione annuale concernente la responsabilità verso terzi; ecc. Rimane comunque impossibilità di volare nelle aree cosiddette 'critiche' come, ad esempio, piazze o aree urbane o zone vicine agli aeroporti (www.enac.gov.it).

2 Ne è un esempio il progetto di ricerca MAAT (*Multibody Advanced Airship for Transport*) portato avanti dal Dipartimento Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università di Modena e Reggio Emilia sulla fattibilità di un nuovo sistema di trasporto aereo, tramite un dirigibile di nuova concezione alimentato interamente mediante energia fotovoltaica, in grado di garantire, per questo, la totale assenza di emissioni energetiche (http://www.eventi.unimore.it/index.php/component/jcalpro/view/11225).

3 Per immagini oblique si intendono quelle il cui angolo di ripresa varia in un intervallo tra 5° e 85° (Ceraudo e Boschi, 2009).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

in ambito archeologico tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo, vengono presentate le attività attualmente svolte con il pallone aerostatico da una comunità molto attiva in ambito ambientale e cartografico, *Public Lab.* Vengono presentati anche alcuni degli strumenti operativi in dotazione: le apparecchiature (il pallone aerostatico, i fili e i verricelli), i sistemi di sospensione della fotocamera e le due macchine fotografiche utilizzate. Viene fatta una breve disamina di un programma che, in modalità *cloud computing,* permette di 'georiferire' e di mosaicare le immagini, MapKnitter. L'obiettivo è definire nel dettaglio tutte le possibili soluzioni attualmente adottabili nell'impiego di questa metodologia in ambito archeologico e non solo.

2. Cenni storici sull'uso del pallone aerostatico in archeologia

Già verso la metà del XIX secolo venivano eseguiti i primi rilievi fotogrammetrici mediante l'ausilio di palloni frenati (ossia eseguito con aerostati trattenuti da cavi e fermati a meno di 500 metri di quota). I casi più famosi sono quello del fotografo francese Gaspar Felix Tournachon[4] (noto come 'Nadar') che, tra il 1856 e il 1858, acquisì numerose riprese aeree della città di Parigi per la pianificazione della città (Soltani, 2011) e quello del fotografo americano James Wallace Black che nel 1860 immortalò Boston da un pallone aerostatico (denominato 'Queen of the air') posto ad un'altezza di circa 360 m (Lillesand e Kiefer, 2000).

Se le prime applicazioni furono prettamente a carattere militare (Lodovisi e Torresani, 2005), nei decenni successivi questa tecnica di documentazione fu adottata anche in archeologia. Solo per citare due esempi significativi, si ricordano il caso dell'archeologo tedesco Stolze che, già nel 1879, utilizzò questa tecnologia per riprendere l'importantissimo sito di Persepoli (Stolze, 1882), e quello dell'archeologo inglese Capper che, trent'anni più tardi (nel 1906), studiava con questa metodologia il sito di Stonehenge in Inghilterra (Capper, 1907). In Italia, tra il 1899 e il 1911, fu l'archeologo Giacomo Boni a dirigere una campagna di scavi nel Foro Romano, utilizzando palloni del genio militare per realizzare immagini da circa 400 metri di altezza. Si trattava di un pallone frenato della Brigata Specialisti dalla quale il Boni documentava la situazione degli scavi in corso nell'area centrale di Roma. Esperienze di questo tipo sono state ripetute su diverse aree italiane. Due esempi abbastanza noti sono quello relativo alla zona del delta tiberino, condotto nel 1907 per studi sul porto di Claudio e di Traiano, e i rilievi fatti nel 1910 sull'area di Pompei. In quest'ultimo caso, la macchina fotografica veniva azionata da terra con un comando elettrico (Ceraudo, 2004).

Tuttavia, già all'inizio del XX secolo si apre una nuova era per la fotografia aerea: i primi voli aeronautici diedero forte impulso a questo settore di studio (inizialmente soprattutto per fini militari), mentre la tecnologia connessa ai palloni aerostatici venne di fatto accantonata. Ciò nonostante in Italia una legge del 1939[5], che imponeva forti limitazioni alle riprese aeree ha fortemente limitato la ricerca archeologica italiana in questo settore: fino a pochi anni fa gli studiosi potevano solamente studiare vecchie foto aeree o, eventualmente, l'acquisire di immagini *ad hoc* mediante, ad esempio, sensori aviotrasportati e autorizzati (con costi molto elevati).

L'abrogazione nel 2000 della legge di cui sopra e la possibilità di utilizzare immagini satellitari ad elevata risoluzione spaziale a costo sempre più contenuto hanno dato nuovo impulso agli studi archeologici connessi con la tecnologia GIS (*Geographical Information*

4 Appassionato di fotografia ed aeronautica, l'eclettico Tournachon nell'estate del 1858 riuscì ad allestire una vera e propria camera oscura su un aerostato. Tuttavia i primi tentativi di impressionare le lastre non ebbero successo e solo alle porte dell'inverno egli riuscì a realizzare un'immagine di tre edifici visti dall'aerostato. Se si esclude, però, quella del 1868 relativa alle strade di Parigi che confluiscono all'Arc de Triomphe, tutte le altre immagini non sopravvissero fino ai giorni nostri. Anche se brevettato, il procedimento era, in realtà, troppo complicato e poco remunerativo per cui fu ben presto accantonato. Attirò tuttavia l'attenzione di Napoleone III che chiese la collaborazione di Tournachon per utilizzare questa tecnologia durante il conflitto con l'Austria, ma egli vi oppose un netto rifiuto (Barnes, 2013).

5 Come evidenzia Ceraudo (2004), il Regio Decreto n.1732 del 1939 richiedeva che le attività di ripresa fossero eseguite da 'Enti o società di navigazione aerea nazionale', in possesso di autorizzazione, limitando di fatto in modo molto marcato la possibilità di acquisire foto aeree.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

System). Infine, il recente successo dei droni ha ulteriormente cambiato gli scenari per questo ambito di ricerca che, seppur sporadicamente, vede riproposto l'uso di palloni aerostatici per mappare siti archeologici molto rilevanti[6].

3. L'utilizzo del Balloon Mapping per la realizzazione di cartografia 'open': il caso di Public Lab

Nel 2010, a seguito del disastro ambientale causato dalla piattaforma petrolifera Deepwater Horizon nel Golfo del Messico tre ricercatori statunitensi – Shannon Dosemagen, Jeff Warren e Stewart Long – con la collaborazione di un gruppo di attivisti di New Orleans (la Lousiana Bucket Brigade, http://labucketbrigade.org/), si attivarono per cartografare dettagliatamente l'emergenza. Tra il 7 maggio e il 22 luglio di quell'anno, decine di persone furono coinvolte nelle attività di mappatura con 36 uscite sul campo e oltre 11.000 immagini raccolte mediante tecnologia BM. In breve, venne prodotta una carta relativa a diversi chilometri della zona costiera di quell'area. Il risultato fu una cartografia ad elevatissima risoluzione spaziale (2-3 cm) (Warren, 2010), che superava di gran lunga quella dei portali cartografici più diffusi quali, ad esempio, Google Maps.

Sull'onda di questo successo nacque la Grassroot Mapping, una comunità scientifica che utilizzava strumenti a basso costo (principalmente palloni aerostatici e/o aquiloni modificati) per realizzare cartografie a risoluzione spaziale elevata. Confluita nel 2011 nella collettività scientifica denominata Public Lab[7], "una comunità internazionale che sviluppa e applica strumenti di tipo *open source* per indagini ed esplorazioni ambientali", essa è attualmente una delle sue componenti più attive.

Nel complesso questo gruppo di ricercatori, il cui sito ufficiale è http://publiclab.org, conta ormai su oltre 9.000 iscritti e si pone, come principale obiettivo, il monitoraggio di ambiti naturali sottoposti a forte pressione antropica. Si tratta di un'organizzazione *no profit* che sviluppa ed applica tecnologia di tipo *open-source* per indagini ambientali, secondo la filosofia *do-it-yourself* (DIY). In tal senso vengono condotte principalmente tre linee di ricerca riguardanti: il territorio, OpenLand (http://publiclab.org/archive)[8]; l'acqua, OpenWater (http://publiclab.org/wiki/open-water); l'aria, OpenAir (http://publiclab.org/wiki/air-quality). A supporto di questi progetti sono stati creati strumenti utili per la ricerca nei diversi settori indagati, strumenti che possono avere ancora carattere sperimentale (come, ad esempio, la camera termografica per l'acquisizione di dati sulla temperatura o la stereocamera per realizzare elaborazioni 3D), ma anche tecnologia già sufficientemente testata e attualmente in vendita online sul sito di questa comunità scientifica.

Per quanto concerne la linea di ricerca relativa al territorio (OpenLand), Public Lab si pone l'obiettivo di fornire agli internauti le istruzioni e gli strumenti operativi per creare carte a costo ridotto e di dare vita ad un database aperto di cartografia partecipata. In tal senso, in un'ottica di autofinanziamento del progetto propria del *crowdfounding*, viene offerta all'utente l'opportunità di acquistare dal sito http://store.publiclab.org/products/ il 'Balloon Mapping Kit' (pallone, verricello, fili e moschettoni) ad un prezzo abbastanza contenuto (inferiore ai 100 Dollari statunitensi, USD) o il 'Kite Mapping Kit' (dal costo analogo). Qualora lo desiderasse, l'utente può anche sperimentare tecnologia più avanzata come, ad esempio, lo spettrometro (Desktop Spectrometry Kit 3.0) per analisi chimiche dell'acqua o la macchina fotografica in grado di acquisire immagini del territorio ad infrarosso (cfr. paragrafo 4.3).

---

6 È il caso, ad esempio, della valle di Tebe in Egitto (Weeks, 1982) in cui vennero utilizzati palloni aerostatici ad aria riscaldata o del sito di Ptolomeais in Libia (Bogacki *et alii*, 2008), cartografato mediante l'acquisizione di immagini remote da aquiloni.

7 Public Lab è sintesi di Public Laboratory for Open Technology and Science.

8 Diversi studi sono stati condotti su ambiti urbani e rurali per cui non era disponibile la cartografia (ad esempio, Mestia in Georgia-Russia, Lima, Rio de Janeiro, aree rurali nel nord-est del Belize) o in aree umide poste e fiumi in prossimità delle aree metropolitane (New York, Boston, ecc.) o, ancora, per cartografare eventi a carattere sociale (Santiago) (Seag e Mund, 2006; Warren, 2010; Lorenz e Scheidt, 2014).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

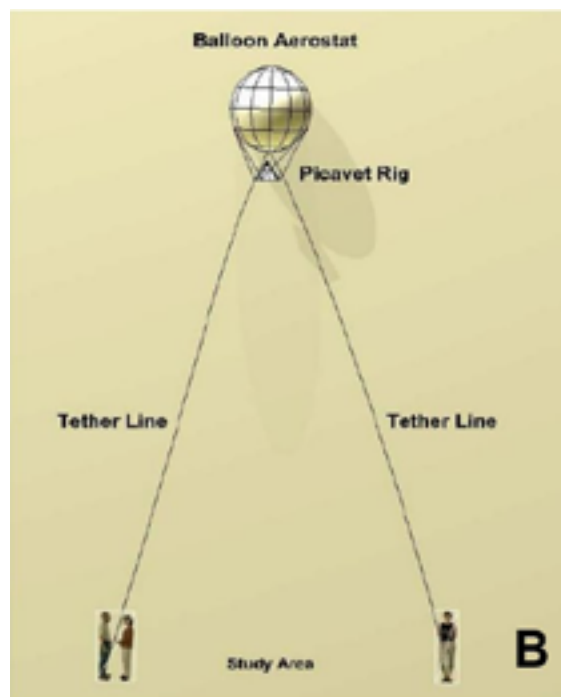



FIGURA 1
A) Difficoltà della tecnologia BM: il filo aggrovigliato sulle chiome degli alberi durante un'uscita in campo (FONTE: foto dell'Autore)
B) Soluzione adottata con due fili in tensione (FONTE: SOLTANI, 2011)

4. Il kit operativo

Vengono di seguito brevemente presentate le caratteristiche degli strumenti operativi per acquisire immagini mediante tecnologia BM. Nello specifico, si riportano proprietà e caratteristiche tecniche dei dispositivi utilizzati durante le attività di ricerca (svolte a scopo di rilievo archeologico) da alcuni studiosi dell'Università di Trieste tra il 2013 e il 2015, cercando anche di tracciare i cambiamenti nelle scelte operative adottate in questo breve periodo.

4.1 Gli strumenti operativi: il pallone aerostatico, il gas, i fili e i verricelli

Per le prime indagini sul campo si è scelto un vettore costituito da un pallone aerostatico di tipo frenato, gonfiato ad elio, sul quale montare una macchina fotografica digitale. Il pallone, di diametro pari a circa 180 cm per un volume di circa 2,5m^3, è a doppio involucro per garantire maggiore resistenza agli urti e all'irraggiamento solare. Il pallone interno è costituito da lattice naturale, biodegradabile, leggero ed estremamente elastico, mentre quello esterno è fatto in nylon[9].

Per riempire un pallone aerostatico delle dimensioni prescelte sono necessari circa 14 litri di gas elio puro al 99% (a pressione atmosferica è pari ad un volume di circa 2,8m^3). Il costo di una bombola di gas elio è alquanto variabile (da 60 fino a 100 euro), in quanto fortemente influenzato dalle condizioni di mercato: si tratta infatti di un gas piuttosto raro[10] che si ottiene

9 Il doppio involucro garantisce una caduta rallentata nel caso di una foratura imprevista. Ulteriori specifiche sono disponibili al sito http://www.tecnofly2008.com/

10 Recentemente anche la British Medical Association (Bma) ha lanciato un appello per un uso consapevole di questo gas raro, segnalando il rischio che esso non sarà più disponibile per usi medici (fonte: https://bma.org.uk/news-views-analysis/work/2015/july/mri-scanners-or-balloons-the-helium-debate-takes-off).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 2 – I due avvolgicavo a confronto:
a sinistra (A) verricello montato su 'yoyo'; a destra (B) verricello nautico dotato di cintura
(FONTE: foto dell'Autore)

commercialmente come sottoprodotto delle estrazioni petrolifere. Per il mercato europeo, il principale referente è l'Algeria ed è, dunque, facilmente intuibile quanto la disponibilità ed il conseguente costo possano essere condizionati dalla situazione geopolitica in atto.

Per quanto riguarda i fili per vincolare e guidare il pallone aerostatico, dopo un'iniziale esperienza negativa, particolare attenzione è stata data alla resistenza del filo[11] in fase di trazione. Non è infrequente, infatti, che durante le operazioni di ripresa aerea improvvise (e imprevedibili) folate di vento spingano il pallone verso ostacoli fisici di diversa natura (chiome di alberi, cornicioni dei tetti, ecc.) sui quali i fili possano aggrovigliarsi (figura1A). Nel tentativo di liberare il vettore, gli operatori sono costretti a tirare il filo in diverse direzioni. La sua eventuale rottura per tensione e/o per attrito comporterebbe, ovviamente, la perdita dell'intera attrezzatura montata sul pallone. Per ovviare tale situazione si è scelto di lavorare almeno con due fili (figura 1B): il pallone è più controllabile e un filo garantisce il recupero del vettore, nel caso l'altro si strappi.

I fili vengono rilasciati o ritirati durante le operazioni di ripresa fotografica mediante verricello e/o avvolgicavo. Considerato il tempo necessario per svolgere e/o avvolgere un cavo piuttosto lungo, è necessario che si tratti di strumenti operativi il più possibile performanti in grado di evitare aggrovigliamenti o torsioni dei fili e rendere, pertanto, il recupero rapido e semplice.

Nel caso specifico si sono scelte due tipologie di avvolgicavo:

- un verricello dotato di manopola di avvolgimento e montato su supporto circolare in plastica, denominato 'yoyo' (figura 2A). Questo sistema è in grado di avvolgere fino a 500m di filo; risulta essere alquanto efficiente e ha un costo relativamente contenuto;
- un verricello nautico, dal costo decisamente più elevato. Questo avvolgicavo si ancora alla vita con una cintura elastica munita di un gancio di chiusura in plastica (figura 2B). Mediante tale cintura il pallone è fisicamente assicurato ad una persona. Le azioni di svolgimento e (soprattutto) di riavvolgimento del filo sono molto rapide. Tuttavia il filo che si può av-

11 Per la tipologia di filo si è optato per il 'trecciato Dyneema': costituito da una fibra sintetica leggera e particolarmente adatta alla trazione che può resistere a carichi di rottura fino ai 250 kg, esso è comunemente utilizzato da chi pratica alpinismo, pesca sportiva o parapendio. In realtà sul mercato esistono molte tipologie di cavo Dyneema che, pur avendo sempre un'ottima resistenza alla trazione, hanno un costo proporzionale alla loro capacità di resistenza alla tensione che viene, generalmente, indicata da un numero.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 3 – Il montaggio della fotocamera sulla staffa rigida
(FONTE: foto dell'Autore)

FIGURA 4 – Il sistema di sospensione della bottiglia in PET forata:
(A) rappresentazione schematica (fonte: Warren, 2010);
(B) un momento nella fase di montaggio della fotocamera sul pallone
(FONTE: foto dell'Autore)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

volgere non è molto lungo[12] (circa 120m al massimo) per cui, se si vuole alzare il pallone ad altezze superiori, bisogna dotarsi di un avvolgicavo suppletivo che rallenta tutte le operazioni.

4.2 Sistemi di sospensione della fotocamera al pallone aerostatico

Come già evidenziato in un precedente contributo (Mauro, 2014), uno dei limiti più evidenti di questa tecnologia è collegato alle condizioni (anche minime) di ventosità. Se in condizioni di calma di vento il pallone rimane abbastanza stabile e ruota al massimo su se stesso per effetto delle correnti d'aria che lambiscono il pallone stesso, la situazione cambia notevolmente anche in presenza di minima brezza. A causa della sua elevata resistenza aerodinamica, con un vento stimabile tra i 1,5-2 m/s il pallone tende ad inclinarsi di molto verso il terreno, rendendo di fatto il vettore inutilizzabile per acquisire foto zenitali.

Proprio per questo, l'iniziale sistema di fissaggio della fotocamera al pallone, alquanto rigido e costituito da una semplice staffa (figura 3), è stato successivamente sostituito con soluzioni decisamente più flessibili.

Un sistema di sospensione utilizzato è quello della 'bottiglia forata' (*the soda bottle rig*; figura 4): la macchina fotografica è assicurata al pallone con un sistema di elastici e un moschettone ad una bottiglia in PET forata che la protegge da eventuali urti. Il peso della macchina fotografica sospesa garantisce la (quasi) ortogonalità dell'obiettivo rispetto al terreno. Questa soluzione si è rivelata particolarmente economica ed, al contempo, efficace (le immagini che si ottengono sono quasi sempre ortogonali).

12 Decidere prioritariamente quanto deve essere lungo il filo è molto rilevante per una buona riuscita della ripresa fotografica. Ovviamente questa scelta è legata all'obiettivo che lo studio si propone. Perciò se si vuole fare un rilievo a scala estremamente dettagliata (ad esempio 1: 500, pari ad un pixel di circa 10 cm) è sufficiente un'altezza inferiore ai 50m. Ciò comporta che l'area ripresa sia di dimensioni ridotte, ma potrebbe andare benissimo, ad esempio, nel caso di riprese di pavimentazioni a mosaico. Altezze maggiori (120-150m) permettono di riprendere aree più estese, con tutte le difficoltà connesse alla gestione del sistema. Per il rapporto tra risoluzione spaziale e scala si veda Favretto (2006).

La seconda soluzione adottata è quella del *Picavet* (figura 5): questo sistema di sospensione deve il nome al suo inventore, Pierre Picavet, che nel 1912 ideò un sistema di fili connesso ad un telaio a forma di croce. Su questa struttura viene fissata la macchina fotografica che, grazie al suo peso, si mantiene in posizione zenitale a prescindere dalle condizioni del vento (Soltani, 2011). Il suo costo è abbastanza contenuto e i risultati sono più che soddisfacenti in quanto le immagini acquisite solo raramente non sono ortogonali.

Futura evoluzione dei sistemi di sospensione per la fotocamera da adottare per la tecnologia BM potrebbe essere quella del *Gimbal* (o *Camera Point*), un supporto cardanico in due o tre assi che può essere orientato mediante giroscopio anche da remoto con un telecomando. Questo tipo di soluzione viene comunemente adottata anche per i mini o micro droni, permettendo di acquisire in modalità controllata sia immagini ortogonali che oblique. Il suo costo è, però, decisamente superiore rispetto alle due soluzioni precedentemente illustrate.

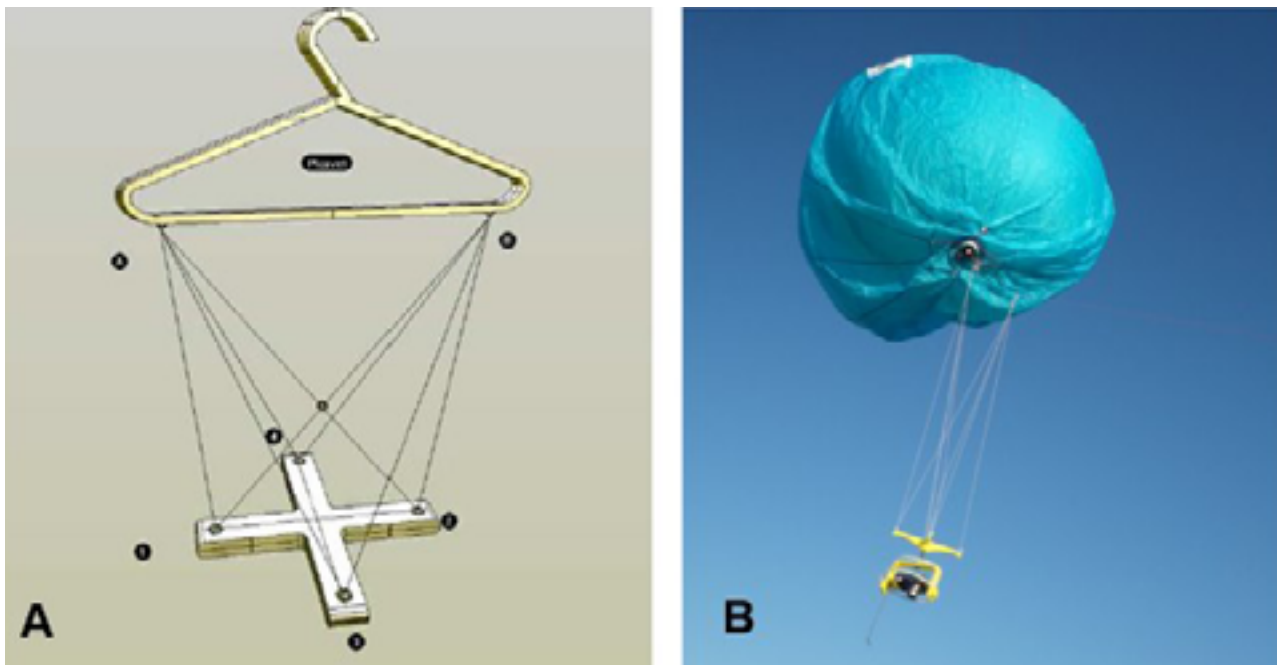
4.3 I 'sensori': due fotocamere a confronto

Sul pallone aerostatico sono state montate alternativamente due macchine fotografiche, entrambe abbastanza leggere per essere trasportate dal vettore e in grado di acquisire immagini 'in continuo'. La prima fotocamera è la WG3 della Pentax, una macchina di piccole dimensioni, particolarmente resistente agli urti, in grado di acquisire immagini secondo un intervallo temporale predefinito grazie all'intervallometro. La seconda fotocamera prescelta è la Canon Power Shot A590IS, un modello commercializzato dalla comunità Public Lab, piuttosto datato ma leggermente modificato per acquisire immagini sensibili alla luce dell'infrarosso (IR) vicino.

Nel predisporre la macchina fotografica prima di uscire in campo, gli operatori devono porre particolare attenzione alle variabili di seguito elencate.

- Peso della fotocamera. Questo parametro deve essere particolarmente contenuto. Il pallone aerostatico riesce a veicolare facilmente fotocamere commerciali con un peso ridotto (250-300 g).
- Risoluzione dell'immagine: essendo il numero di pixel della foto, è meglio selezionare il valore massimo, anche se questo determina maggiore consumo

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 5 – Il sistema di sospensione *Picavet*:
a sinistra (A) lo schema di funzionamento (FONTE: SOLTANI, 2011);
a destra (B) il sistema montato sul pallone aerostatico (FONTE: foto dell'Autore)

di memoria[13]. Ormai le comuni fotocamere acquisiscono immagini mediamente a 16 Megapixel, per cui questo parametro non rappresenta un limite per le attività di ripresa.

– Velocità dell'otturatore. Questo parametro determina la luce che entra in camera e la sua regolazione dipende dalle condizioni di illuminazione: se la velocità impostata è troppo bassa, entrerà molta luce con il rischio di ottenere un'immagine sovraesposta; in caso contrario, si rischia di ottenere una foto sottoesposta. In linea generale, se la giornata è soleggiata la velocità deve essere impostata su valori medi, se invece è nuvolosa meglio selezionare una velocità ridotta.

13 Acquisendo immagini ad intervalli di tempo molto ravvicinati, con immagini ad elevato 'peso informatico' si rischia di saturare velocemente la memoria della fotocamera durante una campagna di raccolta dati. Ad esempio, con una risoluzione dell'immagini a 16 Megapixel e una memoria di 8 Gigabyte, acquisendo immagini ogni 5 secondi il vettore può rimanere in aria oltre 40 minuti prima di saturare la memoria. Tuttavia, grazie al fatto che i costi di questa tecnologia informatica sono alquanto contenuti, il problema è abbastanza secondario.

– Lunghezza focale. Com'è noto, la lunghezza focale di un sensore influenza la risoluzione spaziale dell'immagine secondo la seguente formula: $1/S = f/D$, dove S è la scala di restituzione della carta, f la lunghezza focale e D la distanza del centro ottico della fotocamera dall'obiettivo di ripresa posta a terra (Lillesand e Kiefer, 2000, 136-141). Nel sistema di acquisizione di immagini mediante BM, la pellicola di una generica macchina fotografica è in realtà il 'sensore' cui si fa riferimento. Trattandosi, però, di camere fotografiche digitali il supporto non è di tipo analogico, ma per l'appunto digitale e quindi costituito da pixel le cui dimensioni definiscono la scala di riferimento (Favretto, 2007) e le dimensioni reali dell'area ripresa a terra (ossia lo *swath* dell'immagine).

– Intervallometro. Attraverso questo strumento gli operatori definiscono ogni quanto tempo la macchina fotografica scatterà una foto e tale intervallo può variare da qualche secondo a qualche minuto in funzione dello scopo della ricerca. Non tutte le fotocamere sono dotate di questo particolare dispositivo, ma tal-

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

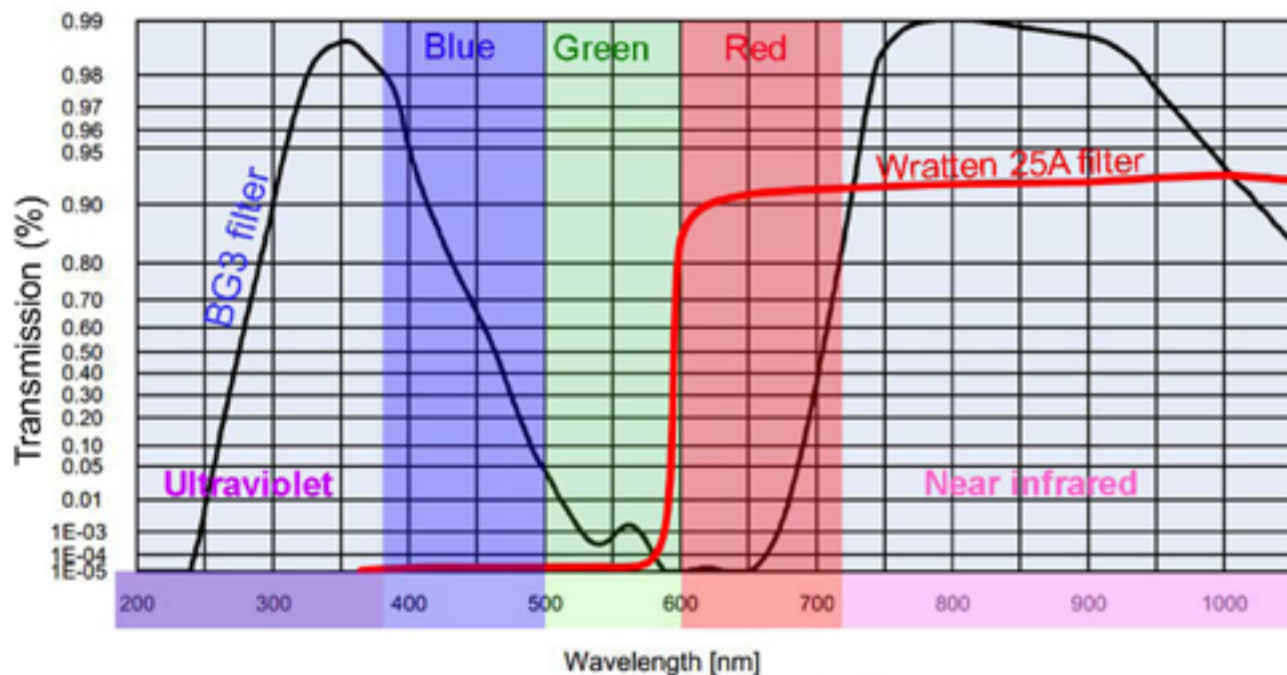



FIGURA 6 – Curva di trasmittanza dei filtri BG3 e Wratten 25A. Il filtro Wratten 25A blocca la luce blu e verde, ma permette la trasmissione della luce nel vicino infrarosso (Near Infrared – NIR) e nel rosso
(FONTE: http://publiclab.org/notes/cfastie/11-12-2013/red-filter-rising)

FIGURA 7 – Immagine a falsi colori (RGB: 123) dell'area archeologica posta nei pressi della basilica di Aquileia (UD)
(FONTE: foto dell'Autore)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

TABELLA 1 – Alcune specifiche, rilevanti ai fini del BM, delle due fotocamere utilizzate durante i sopraluoghi in campo

	WG3 – Pentax	PowerShot A590IS – Canon
Peso (g)	230	225
Risoluzione massima in MPixel (n. colonne x n. righe)	16 (4608 x 3456)	8 (3264 x 2448)
Velocità dell'otturatore (s)	1/4 – 1/4.000	1/60 – 1/2.000
Lunghezza focale (mm)	4,5 – 18	5,8 – 23,2
Intervallometro	Si	Firmware aggiornabile (CHDK)
GPS e altimetro	Si	No
Ripresa del Infrarosso (IR)	No	Si

volta è possibile aggiornarne il software: in questo modo, l'intervallometro può essere aggiunto come una sorta di estensione delle funzionalità della macchina. È il caso della fotocamera Canon di cui sopra: la possibilità di aggiornare il *firmware* della fotocamera permette di installare il pacchetto CHDK (acronimo di *Canon Hacking Development Kit*) ossia programmi aggiuntivi[14], tra cui anche l'intervallometro.

- GPS e altimetro. Pur non essendo strettamente necessari (in quanto la successiva localizzazione geografica delle immagini acquisite viene effettuata mediante programmi specifici; cfr. par. 5), conoscere le coordinate del centro immagine mediante GPS e avere un'indicazione, almeno approssimativa, dell'altezza del vettore costituiscono informazioni aggiuntive importanti per l'intera procedura.
- Ripresa della luce dell'infrarosso (IR) vicino. Com'è noto, la possibilità di acquisire immagini multispettrali sensibili alla luce IR permette di analizzare lo stato di salute della vegetazione, mediante l'elaborazione di particolari indici, di cui il più conosciuto è il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)[15]. Nel presente caso, la fotocamera Canon (di cui sopra) è disponibile, come già accennato, in una versione leggermente modificata: dal blocco macchina è stato eliminato il filtro in grado di 'bloccare' la radiazione IR e ne è stato inserito un altro, di natura gelatinosa e dalla forma quadrata (si tratta del prodotto Kodak denominato Wratten25A; http://fastie.net/product/wratten25a/). Questo ulteriore filtro è in grado di selezionare parte delle onde dell'IR vicino, rendendo la fotocamera nel complesso più sensibile a questo spettro di luce (figura 6). Come spiegato nel dettaglio anche in Favretto (2015), associando al canale blu e, parzialmente, al canale verde la radiazione infrarossa si ottengono immagini a falsi colori con netta predominanza del colore blu (figura 7).

In tabella 1 vengono riportate alcune specifiche (rilevanti ai fini del BM) delle due fotocamere.

14 Questo software garantisce numerose nuove funzionalità alla fotocamera come, ad esempio, estendere il tempo di esposizione, scattare immagini in formato .raw, visualizzare istogrammi in tempo reale, calcolare la profondità di campo, disporre dell'indicatore per sapere lo stato di carica della batteria, ecc. (http://chdk.wikia.com/wiki/Italian/FAQ).

15 Si riporta di seguito la formula dell'NDVI (Rouse *et al.*, 1974): NDVI = (NIR – RED)/(NIR+RED), dove NIR è il valore di riflettenza del singolo pixel all'infrarosso vicino, mentre RED è quello al rosso. I valori dell'indice sono normalizzati da -1 a +1, aiutando di fatto l'interpretazione di risultati: mentre i valori negativi si riferiscono ad ambiti privi di vegetazione, valori bassi indicano generalmente formazioni vegetali meno 'evolute' (prati, savana, ecc.), mentre valori più elevati si riferiscono a formazioni vegetali più 'mature' (ad esempio, foreste).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

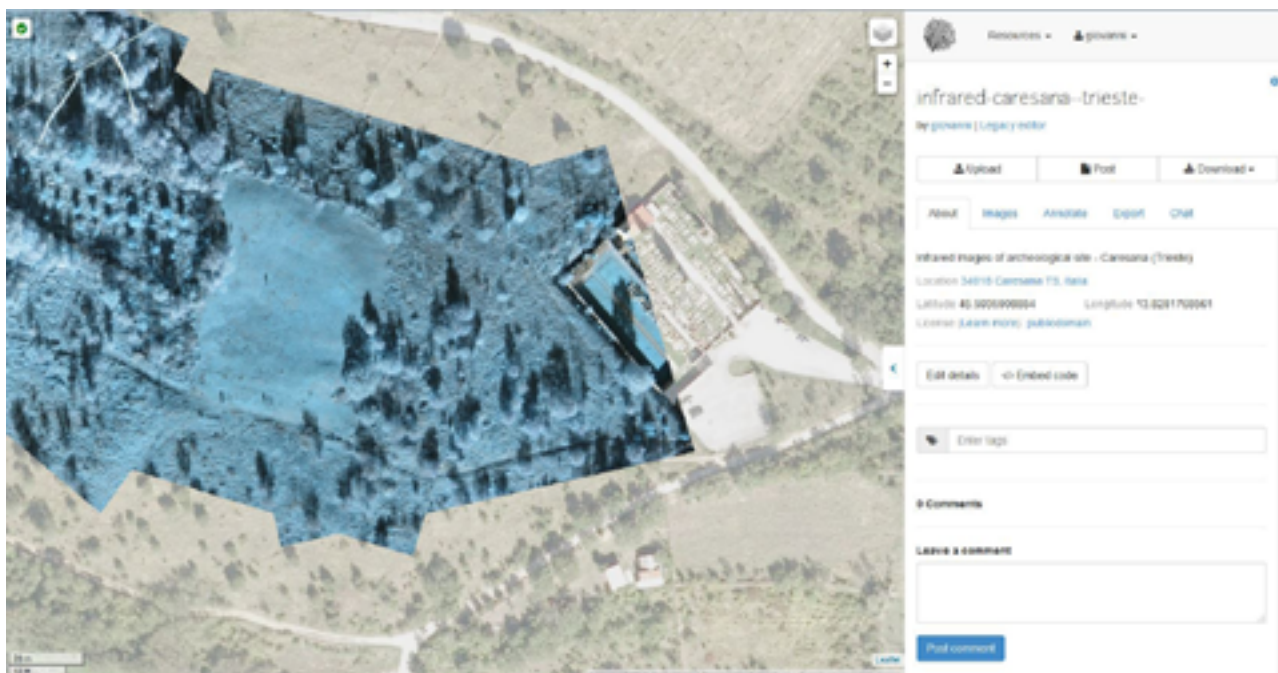



FIGURA 8 – L'ambiente grafico della piattaforma di MapKnitter 2.0.
Nello specifico è visibile parte del ortomosaico del progetto 'infrared-Caresana-Trieste' (come riportato in alto a destra)

5. La creazione di ortomosaici mediante l'applicativo gratuito MapKnitter

Una volta acquisite le immagini mediante la fotocamera prescelta, esse possono essere utilizzate per creare ortomosaici: si tratta di una composizione di immagini aeree adiacenti, opportunamente raddrizzate ed aventi la stessa scala (Wolf *et al.*, 2014). Tale elaborazione non comporta automaticamente l'applicazione di algoritmi sulle aree in cui le foto si sovrappongono, soprattutto qualora esse evidenzino un'analoga esposizione.

Nel composito universo del Web2.0 le possibilità offerte dalla rete per creare un ortomosaico sono molteplici. Infatti, oltre ai consueti programmi a pagamento (ad esempio, Photomodeler o Agisoft Photoscan) generalmente più performanti, si possono reperire software che funzionano in modalità *cloud computing* secondo la logica *Software as a Service* (SaaS) o programmi di tipo *open source* disponibili gratuitamente (ma di solito più ostici da utilizzare).

Un esempio di SaaS è DroneMapper (https://dronemapper.com/), un programma disponibile in rete che offre all'utente la possibilità di creare immagini georiferite e mosaicate a prezzi alquanto ragionevoli (circa 18 euro a Kmq). Open Multiple View Geometry (OpenMVG) è, invece, un esempio di libreria[16] gratuitamente disponibile e scaricabile dotata di diversi moduli particolarmente validi per la fotogrammetria (http://imagine.enpc.fr/~moulonp/openMVG/). Altro esempio di programma gratuito è OpenDroneMap (http://opendronemap.github.io/odm/), un applicativo mediante il quale l'utente, a partire dalle proprie immagini (dotate anche dei riferimenti GPS), può creare modelli digitali (sia DSM che DTM) e/o ortomosaici georiferiti.

È in questo contesto che si inserisce MapKnitter (http://mapknitter.org/), un software sviluppato dalla

16 In informatica con il termine libreria si intende una raccolta di funzioni o strutture dati nate per essere utilizzate da un programma specifico.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

comunità Public Lab[17]: si tratta di una vera e propria piattaforma *online* che permette di posizionare (in modalità *rubbersheet*, ossia modificando in tempo reale direzione e dimensioni della foto, senza applicare precedentemente alcuna trasformazione) le immagini raccolte dal pallone aerostatico sulla cartografia *raster* dei portali cartografici più diffusi. L'utente può successivamente mosaicaire le immagini correttamente localizzate e creare così degli ortomosaici georiferiti.

Questo programma è l'evoluzione di un precedente progetto denominato Cartagen Knitter ed è attualmente alla sua versione 2.0 (figura8). Questo applicativo, che funziona in modalità *cloud computing*, utilizza programmi *open source* come, ad esempio, la libreria GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), la libreria JavaScript LeafLet, il *framework web* Ruby on Rail, ecc. grazie ai quali crea un ambiente informatico alquanto intuitivo e semplice per la generazione di ortomosaici. L'utente iscritto deve inizialmente creare un progetto con il quale identifica l'area geografica di riferimento; successivamente posiziona le immagini acquisite dal vettore che devono essere opportunamente orientate, ridimensionate e sovrapposte alla base della cartografia di riferimento come OpenStreetMap, Google Satellite o Bing Aerial. Una volta che le immagini sono correttamente posizionate, l'utente può mosaicarle scegliendo la risoluzione spaziale più opportuna in rapporto alla qualità e al relativo 'peso informatico' della carta finale[18]: l'immagine finale sarà data dal solo accostamento e/o sovrapposizione delle foto prescelte e geolocalizzate.

Il risultato è una cartografia *raster* da esportare nei formati più comuni come, ad esempio, GeoTIFF. L'utente può rendere pubblica la carta prodotta salvandola sul server del database cartografico di MapKnitter, sul quale sono attualmente (inizio ottobre 2015) disponibili oltre 1.800 carte del tutto gratuite con risoluzione spaziale media inferiore a 30cm.

6. Pallone aerostatico o drone per l'archeologia?

In ultima analisi, si propone un confronto tra pallone aerostatico e mini o micro droni per evidenziarne reciproci svantaggi e/o vantaggi nelle applicazioni in archeologia.

Come emerso nel presente contributo, numerosi sono i limiti insiti nella tecnologia BM; tra questi i principali consistono nella scarsa stabilità del pallone (fortemente influenzato dalla ventosità del sito) e nel costo del gas elio, che condiziona fortemente la presunta economicità dell'intero sistema. Ai costi fissi (acquisto del pallone, del filo, del verricello ed, eventualmente, del *Picavet*), valutabili in una cifra di circa 500 euro, bisogna perciò aggiungere il costo dell'elio che può variare da 60 a 100 euro per ogni uscita in campo. Altro fattore da non sottovalutare è la difficoltà di gestione dell'intero sistema: anche se inizialmente può sembrare un sistema facile da utilizzare per la ripresa di foto da bassa quota, numerose sono le insidie del BM come, ad esempio, le modalità di assemblaggio o una sottovalutazione delle difficoltà presenti nel sito da studiare (chiome degli alberi, ventosità, linee elettriche, ecc.).

Punto di forza, invece, è la possibilità di mantenere in aria il vettore per un periodo prolungato (ad esempio, un'intera giornata) e poter così riprendere 'in continuo' la stessa scena a lungo. Ciò permette di monitorare l'evoluzione dei fenomeni in atto come, ad esempio, nel caso dell'esperienza di Trieste Next 2014 (cfr. Favretto e Mauro, 2015 e Ronza, 2014). Altro vantaggio è la possibilità di montare fotocamere digitali dal peso contenuto (250-300 g): si possono così recuperare anche vecchie macchine fotografiche ed eventualmente modificarle per acquisire informazioni anche sull'infrarosso vicino (le indicazioni su come procedere concretamente sono disponibili in rete[19]). Ciò, invece, costituirebbe un problema per mini

17 Questa comunità, oltre ad offrire la possibilità di acquistare strumenti (come già specificato al par. 3), mette a disposizione degli utenti anche alcuni programmi liberamente utilizzabili *online*. Ne è un esempio, Infragram, un applicativo per caricare in rete immagini acquisite con fotocamere a IR e per poterle successivamente visualizzarle secondo diverse combinazioni di colori o elaborare indici di vegetazione (come, ad esempio, l'NDVI).

18 Per informazioni più dettagliate dell'intero processo da seguire per creare fotopiani si veda Favretto e Mauro (2015).

19 Ne è un esempio il video disponibile su YouTube "How to make an infrared camera" (https://www.youtube.com/watch?v=SeySK1Q4QYE).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

o micro UAV su cui generalmente è preferibile montare fotocamere più leggere come le GoPro[20]. Ulteriore supporto a questa tecnologia arriva dai programmi sviluppati *ad hoc* e disponibili gratuitamente in rete e MapKnitter ne è l'esempio più significativo.

Per contro i mini o micro droni sono sicuramente più pratici nell'utilizzo (è sufficiente uscire in campo con il drone) e molto più efficienti nell'acquisizione delle immagini, in quanto meno condizionati dal vento e più facili da mantenere sotto controllo, grazie alla tecnologia GPS integrata. Tuttavia il costo iniziale di acquisto (per un mini o micro SAPR di qualità sufficientemente affidabile il prezzo si aggira attorno almeno ai 1.500 euro) e i costi per le pratiche per poterlo ufficialmente pilotare (stimabili in almeno altri 2.000 euro) rappresentano variabili che giocano a sfavore di questo vettore. Anche in questo caso, l'esperienza nell'utilizzo del mini o micro UAV non è affatto un fattore secondario; rischiare di smarrire un drone per le cause più svariate (uscita del vettore dalla zona di controllo del radiocomando, ostacoli fisici su cui va per errore a posizionarsi il drone, rendendo difficoltoso il suo recupero, ecc.) significa anche perdere una cifra abbastanza rilevante.

Considerando che né drone, né pallone aerostatico sono tecnologia veramente low-cost, la scelta sul vettore da preferire deve essere attentamente valutata in funzione degli obiettivi che si intende perseguire con il loro utilizzo. Nel campo archeologico sembra sicuramente prevalere l'uso più pratico del drone, anche se l'utilizzo del pallone può risultare utile in situazioni particolari. Ad esempio, utilizzare mini o micro UAV in siti archeologi localizzati in zone tidali (ossia in aree sottoposte a forte escursioni di marea, come le lagune o le foci dei fiumi) può significare il rischio concreto di perdere in acqua l'intera strumentazione; questo problema con l'utilizzo del pallone non sussiste.

20 Com'è noto, con il termine GoPro, che richiama la società californiana che le produce, si intendono le videocamere e fotocamere compatte e particolarmente leggere (inferiori a 100g) che mediante accessori possono essere indossate per riprese in *real time* durante, ad esempio, attività agonistiche.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

BARNES J. (2013), *Livelli di vita*, Einaudi, Torino, pp. 17-23.

BOGACKY M., MALKOWSKY W., MISIEWICZ K. (2008), "Kite Aerial Photography as a tool for completing GIS models. Ptolomeais (Lybia) case study", *Remote Sensing for Archeology and Cultural Heritage Management,* La Saponara R. & Masini N. Editors, pp. 329-333.

CAPPER J.E. (1907), "Photographs of Stonehenge, as seen from a War Balloon", *Archeologia*, 60, 571-3.

CERAUDO G. (2004), *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2004), Archeologia aerea,* Studi di Aerotopografia Archeologica, Libreria dello Stato, Istituto Poligrafico e Zecca di Stato, Roma.

CERAUDO G., BOSCHI F. (2009), *Fotografia aerea per l'archeologia.* In: GIORGI E. (a cura di), *In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia,* Groma, 2, pp. 171-186.

DAVIS M.A., JOHNSON G.W. (1991), "A simple and inexpensive method of obtaining low-altitude photographs of vegetation using a tethered balloon", *Prairie Nat.*, 23(3), pp. 153-164.

FAVRETTO A. (2006), *Strumenti per l'analisi geografica. GIS e telerilevamento*, Patron, Bologna, p. 135.

FAVRETTO A. (2007). *Sviluppo locale ed integrazione regionale: metodologie e problematiche con particolare riferimento alla cartografia,* Pátron, Bologna, pp. 1-56.

FAVRETTO A, MAURO G. (2015), Analisi esplorative delle preferenze dei visitatori di una manifestazione culturale in uno spazio urbano utilizzando il Balloon mapping e la statistica spaziale. Il caso di Trieste Next, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 7-19, http://hdl.handle.net/10077/11652.

FAVRETTO A., MAURO G., ZACCARIA C. (2015), Il *Balloon Mapping* per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 36-51, http://hdl.handle.net/10077/11791.

LILLESAND T. M., KIEFER R. W. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation,* Wiley & Sons, New York, pp. 57-59 e pp. 136-141.

LODOVISI A., TORRESANI S. (2005), *Cartografia e informazione geografica, Storia e tecniche,* Pátron, Bologna, pp. 174-175.

LORENZ R. D., SHEIDT S.P. (2014), "Compact and inexpensive kite apparatus for geomorphologica field aerial photography, with some remarks on operations", *GeoResJ*, 3-4, 1-8. http://www.elsevier.com/locate/GRJ.

MAURO G. (2014), "Strumenti per una cartografia 'attiva': il *balloon mapping.* Limiti e potenzialità in un progetto di ricerca a Trieste", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia,* 151, pp. 4-16, http://hdl.handle.net/10077/10371.

RONZA M. (2014), "*Balloon Mapping* a 'Trieste Next 2014': esperienze di cartografia attiva", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia,* 151, pp. 105-108, http://hdl.handle.net/10077/10596.

ROUSE J. W., HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W. (1974), *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plans with ERTS*, Proceedings 3rd Earth Resources, Technology Satellite-1 Symposium, Goddard Space Flight center, Washington D.C.

SEANG T.P., MUND J.P. (2006). "Balloon Based Geo-Referenced Digital Photo Technique a Low Cost High-Resolution Option for Developing Countries", *Proceedings of the XXIII International FIG Congress*, Munich, Germany, pp. 1-12. https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts73/ts73_02_mund_peng_0425.pdf.

SOLTANI A. (2011), *Embodied airborne imagery: low-altitude urban filmic topography,* Electronic Visualization and the Arts (EVA 2011), London. http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev11_s7paper1.pdf.

STOLZE F. (1882), *Persepolis. Die achaemenidischen und sasanidischen*

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Denkmäler und Inschriften von Persepolis, Istakhr, Pasargadae, Shâhpûr zum ersten Male photographisch aufgenommen. 2 Bände, Berlin, A. Asher & Co, Andreas & Theodor Nöldeke.

WARREN J. Y. (2010), *Grassroots Mapping: tools for participatory and activist cartography,* Massachusetts Institute of Technology (MIT). http://unterbahn.com/thesis-web/thesis.pdf.

WEEKS K.R. (1982), *The Berkeley Map of the Theban Necropolis: Report of the Fifth Season,* University of California, Berkeley.

WOLF P.R., DEWITT B. A., WILKINSON B.E. (2014), *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS,* McGraw-Hill Education, USA, pp.249-251.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA 2015 (155), 36-51

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

DOI: 10.13137/2282-472X/11791

Il *Balloon Mapping* per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino

Balloon mapping for the study of two "castellieri" in the Karstic areas of Trieste and Gorizia provinces

Andrea Favretto, Giovanni Mauro, Claudio Zaccaria

Dipartimento di Studi Umanistici – Università di Trieste

Riassunto

Il contributo presenta i primi risultati di alcune indagini compiute con la tecnologia *Balloon Mapping* (BM) su due castellieri del Carso isontino e triestino.
Nello specifico, viene presa in esame una serie di immagini acquisite con il pallone aerostatico sui siti di San Polo, presso Monfalcone (Provincia di Gorizia) e di Monte Trmun, presso Caresana (Provincia di Trieste). Dopo una selezione delle immagini telerilevate, sono stati creati degli ortomosaici, utilizzando in rete l'ambiente operativo di MapKnitter. Per il sito di Caresana sono stati inoltre elaborati due ulteriori ortomosaici, ottenuti da immagini scattate con una macchina fotografica sensibile all'infrarosso vicino. Su tali ortomosaici è stato creato l'indice di vegetazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Infine è stata prodotta una cartografia dedicata, riportante un presunto crop mark positivo, ottenuto sulla base dell'interpretazione visiva dell'indice di vegetazione, opportunamente classificato in dieci classi di intervallo.

Parole chiave

Balloon Mapping, Carso, Castellieri, ortomosaici, NDVI, *crop mark*

Abstract

In the paper we present the first results of a research carried on using Balloon Mapping techniques over two 'castellieri' (ancient fortified boroughs) in the karstic areas of Trieste and Gorizia Provinces (North East of Italy).
Several remote sensed images, taken from a helium filled balloon in the two areas of San Polo (Monfalcone Municipality, Gorizia Province) and Trmun mountain (Caresana Village, Trieste Province), have been considered. After a first selection, several orthomosaics have been realized, using the MapKnitter cloud computing environment. Besides, two additional orthomosaics for the Caresana location have been produced using some near infrared images. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), has been calculated for the Caresana site and the two obtained NDVI layers have been classified in ten classes of interval. A positive crop mark on the Caresana site have been recognized and drawn on one classified NDVI layer.

Keywords

Balloon Mapping, Karst, Castellieri, orthomosaic, NDVI, crop mark

1. Introduzione

L'archeologia si avvale non da poco tempo della fotografia aerea per l'ottenimento di immagini telerilevate, al fine di scoprire, delimitare e proteggere siti archeologici. Esiste, infatti, un settore disciplinare pluri-centenario, denominato "Archeologia Aerea" (AA), che si occupa di acquisire immagini da remoto, interpretarle, elaborarle e trasformarle in cartografia (attraverso la cosiddetta restituzione grafica/cartografica[1]), nonchè di produrre schede descrittive, da inserire in formato digitale in *database* tematici (cfr. fra gli altri, Ceraudo, 2004; Musson, 2005; la rivista internazionale "Archeologia Aerea. Studi di Aerotopografia Archeologica", attiva dal 2004).

In particolare, per il trattamento delle immagini telerilevate, l'AA si appoggia ad altre discipline quali il Telerilevamento e la Fotogrammetria, tradizionalmente utilizzate per il controllo del territorio con fini di carattere ambientale o socio-economico; la restituzione cartografica delle immagini presuppone invece la conoscenza di elementi di Cartografia e Geodesia; infine, la gestione delle schede archeologiche e l'analisi spaziale dei risultati sono collegate alle metodologie dei database e dei Sistemi Informativi Geografici (GIS)[2].

Il contributo delle discipline suddette è stato reso possibile, da un punto di vista tecnico, dall'evoluzione della tecnologia informatica. Ci si riferisce, naturalmente, al progressivo abbattimento dei costi collegati all'hardware (desktop computer e server di dati) e al software *open source*[3] ma soprattutto alle risorse computazionali e cartografiche reperibili in rete.

La rete e più precisamente le tecnologie collegate al Web, il suo più famoso servizio, è stata il volano che ha prodotto i maggiori risultati. Il *cloud computing*, ovvero l'informatica basata sulla nuvola/rete, sta di fatto rivoluzionando il modo di intendere, distribuire ed utilizzare il software[4]. La nuvola fornisce il software, eventualmente l'hardware virtualizzato[5] ed anche la base cartografica per posizionare le planimetrie dei siti archeologici. La base cartografica può essere disegnata (si pensi ad OpenStreet Map[6], il famoso progetto internazionale per la realizzazione di cartografia libera ad opera dei cosiddetti volontari dell'informazione geografica – VGI[7]); oppure telerilevata e resa disponibile attraverso i *geobrowser*[8], a titolo più o meno gratuito, da colossi informatici quali Google o Microsoft.

Si è già sottolineata l'utilità della fotografia aerea come strumento sussidiario per la ricerca archeologica e se ne è tracciata una stringata evoluzione storica (si vedano: Favretto e Mauro, 2015; Mauro, 2015). Si desidera aggiungere che una ricognizione aerea è soprattutto in grado di spiegare le dinamiche territoriali attorno ad una microarea ove sia stato scoperto uno specifico monumento. Ciò è particolarmente importante per capire quali possono essere state le relazioni fra il sito archeologico e le aree circostanti in quanto "molte volte emer-

1 La principale differenza fra le due è legata all'unità di misura della precisione: quella grafica ha un'accuratezza metrica mentre quella cartografica centimetrica o sub-centimetrica (cfr.: Musson, 2005).

2 Esiste una ricchissima bibliografia su applicazioni di GIS e Telerilevamento in Archeologia. Fra i testi, possiamo ricordare Conolly *et al.*, 2006; Chapman, 2006; Wheatley D., 2002; Parcak S., 2009.

3 Un software *open source* è rilasciato (generalmente gratuitamente), con un tipo di licenza che permette una collaborazione allargata nello sviluppo e nel controllo degli errori. Esso può essere infatti perfezionato da tutti gli sviluppatori attraverso la diffusione via Internet del codice sorgente (da qui il termine *open source*; cfr. per approfondimenti: Bertani, 2004 e il portale Open Source Initiative che riporta una bibliografia ricchissima di risorse web e bibliografiche su tale tipologia di software (http://opensource.org/links).

4 Secondo la definizione del NIST (National Institute of Standards and Technology) del 2011, "*Cloud Computing* è un modello che prevede la possibilità di distribuire risorse informatiche ad una moltitudine disomogenea di dispositivi informatici collegati alla rete". Per approfondire, si veda Mell and Grance. 2011.

5 Si intende con il termine virtualizzazione un metodo per ricreare macchine virtuali sulla stessa piattaforma hardware. Partizionando per esempio una macchina di tipo server è possibile installare un sistema operativo α su una macchina virtuale e un sistema operativo β su un'altra macchina virtuale, ambedue ottenute dal partizionamento del server di partenza.

6 Per approfondimenti su OSM si rimanda, oltre al sito http://www.openstreetmap.org/, ai testi di Bennet, 2010 e di Ramm *et alii*, 2011.

7 VGI (*Volunteered Geographic Information*), è l'informazione geografica prodotta gratuitamente da mano d'opera volontaria in rete. Si tratta di escursionisti, turisti, appassionati di cartografia digitale, studenti che, utilizzando il GPS o gli altri strumenti informatici disponibili sul Web, mappano con cura e periodicità le aree geografiche dove vivono o che hanno visitato. Si veda a tal riguardo Goodchild, 2007; Sui *et alii*, 2013.

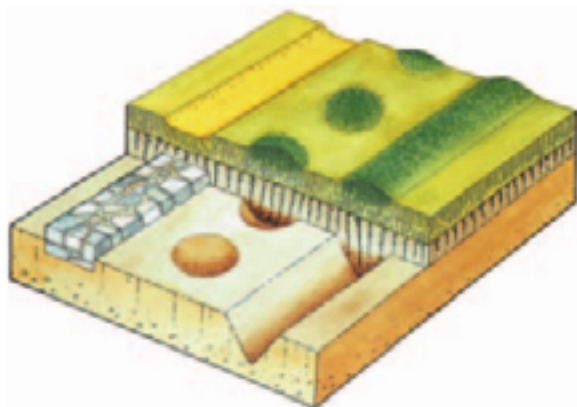
8 Per approfondire si veda, ad esempio, Goodchild, 2008; Favretto, 2009.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

gono dati rilevanti non nel sito di primo interesse ma nelle aree limitrofe o nei siti adiacenti alla zona indagata [...] Tutte le tracce riscontrabili in foto aerea [...] sono da considerarsi archeologiche in seguito alla verifica sul terreno con ricognizioni di superficie o scavo stratigrafico" (Mastroianni, 2014). Infine, va ricordato che le fotografie aeree possono essere verticali (l'apparecchio fotografico è rivolto al terreno in direzione ortogonale rispetto al piano della fotografia), oppure oblique (il piano della fotografia presenta una certa angolazione rispetto al piano del terreno) (cfr. Musson, 2005). Le foto oblique sono infatti molto utili per scopi archeologici in quanto, scattate in determinate condizioni di illuminazione (per sfruttare la luce radente), possono evidenziare la presenza di microrilievi sul terreno.

Il costo delle ricognizioni aeree ha spinto gli operatori del settore a ricercare delle soluzioni alternative più a buon mercato. Oltre alle riprese da pallone aerostatico (che sono il filo rosso che congiunge i lavori del vol. 155), vanno ricordate altre risorse fotografiche cosiddette *offline* e *online*. Le prime sono i ben noti archivi fotografici di enti quali l'Istituto Geografico Militare di Firenze o l'Aerofototeca nazionale a Roma. Le seconde sono tutte le cartografie e le immagini telerilevate accessibili via Web. Ci si riferisce sia ai repertori di mappe e/o immagini delle varie Regioni italiane (accessibili ad esempio attraverso il portale cartografico nazionale – http://www.portalecartografico.it/), sia ai repertori di enti nazionali (ad esempio il Geoportale Nazionale del Ministero dell'ambiente – http://www.pcn.minambiente.it/GN/). Non solo: l'archeologo che sia interessato alle immagini telerilevate di una certa zona può trovare in rete tali risorse a costo zero, accessibili attraverso i *geobrowser*, che permettono di visualizzare le immagini telerilevate negli enormi database di società private multinazionali quali Google o Microsoft. In particolare, le fotografie oblique ad alta definizione fornite da Bing Maps di Microsoft si sono dimostrate particolarmente efficaci nell'aerofotointerpretazione archeologica di un sito noto quale la città etrusca di Veio (cfr. Mastroianni, *op. cit.*).

Come è noto, gli elementi che in una fotografia aerea possono denunciare la presenza di un sito archeologico sono essenzialmente di due tipologie: si possono riconoscere discontinuità sul suolo nudo (cosiddetti *soil mark*), oppure nella copertura vegetale (*crop mark*).

I *soil mark* (figura 1B) sono essenzialmente tracce visibili dall'alto in aree non vegetate, dovute al fatto che il suolo, se alterato o ricoperto con materiali da riporto per interventi antropici, non può essere riportato alle originali condizioni di uniformità del suo aspetto

1A

1B

FIGURA 1 – *Crop mark* positivi e negativi (1A); esempio di *soil mark* (1B) (fonte: Musson *et al.*, 2005)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

visto dall'alto. L'improvvisa presenza di terreno ad alto contenuto pietroso in suoli sciolti può rendere evidenti tracce di antiche costruzioni o viabilità. Le stesse tracce saranno ancora più evidenti in determinate condizioni di umidità del terreno e pertanto la possibilità di eseguire delle fotografie nei migliori momenti possibili (dopo una pioggia che interrompe un periodo di siccità, ad esempio), rende ancora più efficaci le riprese stesse.

I *crop mark* (figura 1A) sono invece discontinuità della copertura vegetale, che si palesano in modo più evidente sotto forma di variazioni di colore e/o crescita in campi coltivati (cereali o colture pratensi). I *crop mark* sono positivi quando appaiono tracce verdi su un fondo maggiormente giallo (denotando, ad esempio, la presenza di un antico fossato, che assicura un maggior contenuto di umidità al terreno); negativi quando la traccia è, invece, di colore più giallo rispetto al resto del campo (per una riduzione del nutrimento alla pianta o, semplicemente, della disponibilità idrica alla pianta in quella zona). In questo caso la traccia può denunciare la presenza di muri o di altre strutture ipogee.

Nel contributo vengono messi a confronto i primi risultati di alcune indagini compiute nelle aree di due castellieri[9] del Carso isontino e triestino, sulla base di fotografie riprese da pallone aerostatico.

Le due aree sono quella di San Polo (Monfalcone – Provincia di Gorizia) e di Caresana-monte Trmun (Provincia di Trieste). L'obiettivo è stato quello di testare l'efficacia della cosiddetta mappatura da pallone (*balloon mapping* – BM) su due siti citati in alcuni testi dedicati ai castellieri locali (cfr., fra gli altri: Marchesetti, 1903; Flego *et al.*, 1993; Montagnari Kokelj, 1989; Montagnari Kokelj, 2001; Betic *et alii*, 2008). Si è appositamente voluto indagare dei siti conosciuti per avere un primo riscontro della procedura d'indagine all'oggetto. Mentre però il Castelliere di San Polo, che si inserisce in un sistema di abitati fortificati allineati a oriente di Monfalcone, è ben noto e rilevato fin dalle più antiche indagini su questi insediamenti (cfr. Marchesetti 1903), la presenza di un castelliere sul monte Trmun, che verrebbe a completare un sistema di abitati di altura strategicamente disposti nell'area tra la foce del rio Ospo e l'altopiano carsico (Stramare, Montedoro, Prebenico, San Rocco, Monte Carso, San Michele, San Servolo, Grociana Piccola: cfr. Bernardini *et al.* 2013; Bernardini *et al.* 2015), è stata finora soltanto supposta sulla base di pochi resti archeologici affioranti (Flego *et al.*, 1993; Progetto Interreg Italia-Slovenia IIIA AltoAdriatico: Carta Archeologica – Elenco UT 85 Presunto castelliere di Trmun).

Naturalmente si considera tale procedura complementare alle analisi archeologiche tradizionali, da impiegare preliminarmente ad esse, in quanto meno costosa ed impattante, sia parallelamente e posteriormente ad esse, in modo da evidenziare eventuali ulteriori zone da scavare.

I due siti sono stati ripresi dall'alto in occasione di alcune uscite, realizzate durante il 2014 e il 2015. Più precisamente, il sito di San Polo è stato ripreso nell'aprile 2014 mentre quello di Trmun – Caresana è stato indagato durante le tre uscite di marzo 2014, dicembre 2014 e marzo 2015. Nelle due ultime uscite a Caresana è stato utilizzato un apparecchio fotografico sensibile all'infrarosso vicino.

Durante i voli, effettuati in giornate terse e con calma di vento, l'apparecchio fotografico portato dal pallone è stato programmato in modo da scattare continuativamente le fotografie. Il controllo a terra del pallone, mediante i cavi di sicurezza regolati da verricello, non è stato statico, nel senso che gli operatori si sono mossi nell'area per garantire una maggior area ripresa dalle fotografie. Ciò ha prodotto un cospicuo numero di fotogrammi, alcuni dei quali sono stati mosaicati dopo essere stati raddrizzati con tecniche fotogrammetriche.

La mosaicatura delle immagini richiede, come noto, la disponibilità di fotografie ortogonali al terreno. Questo ha determinato la totale assenza di fotografie oblique in questa prima fase della ricerca. Naturalmente questo potrà essere l'oggetto di ulteriori indagini (peraltro in calendario, essendo il presente progetto stato rifinanziato per il triennio 2014-2016). Le uscite di marzo e aprile 2014 (rispettivamente a Caresana e San Polo), sono state fatte senza alcuna stabilizzazione dell'apparecchio fotografico mentre nelle due successive a Caresana si sono utilizzati due stabilizzatori, ovvero quello artigianale

9 Com'è noto, i castellieri sono villaggi fortificati con cinte di mura in pietra posti sulla cima dei rilievi e delle alture carsiche e risalenti all'età del bronzo. Di loro attualmente rimane solo qualche residua testimonianza come, ad esempio, anomali cumuli di pietre o particolari geometrie sul territorio (cfr., fra gli altri: Marchesetti, 1903; Flego *et al.*, 1993; Montagnari Kokelj, 2005).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

con bottiglia di plastica e quello con il picavet (cfr. Mauro, 2015). Anche l'altezza delle riprese è stata progressivamente incrementata (da 60-75 metri circa ai 100 metri dell'ultima effettuata). Ciò ha consentito di utilizzare un minor numero di fotogrammi per il mosaico.

Nel contributo si illustra brevemente il procedimento di accostamento delle immagini adottato (utilizzando l'applicativo in modalità *cloud computing* MapKnitter), e si presentano gli ortomosaici prodotti in tal modo, frutto delle quattro uscite sul campo. A seguire, per il solo sito di Caresana, viene presentata un'elaborazione degli "ortomosaici" di dicembre 2014 e marzo 2015; è stato infatti calcolato per ambedue un indice di vegetazione (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*[10]), successivamente classificato in 10 classi di intensità dello stesso.

Sulla base delle cartografie tematiche realizzate, si sono infine identificate alcune possibili anomalie della vegetazione per il sito di Caresana, potenziali *crop mark* che potrebbero indicare la presenza di rovine ipogee, oggetto di possibili future analisi stratigrafiche.

2. I dati utilizzati e l'ambiente operativo di MapKnitter 2.0

Come accennato, nel corso del periodo 2013-2014 sono state realizzate diverse uscite sul campo, inizialmente per acquisire dimestichezza con il pallone aerostatico e per ottimizzare le modalità di ripresa; in una seconda fase sono state acquisite le immagini utili alla ricerca in corso.

Le immagini selezionate sono state georiferite utilizzando il software in modalità *cloud* MapKnitter. Come già evidenziato in Mauro 2015, l'utente iscritto può modificare la direzione e le dimensioni delle immagini, senza applicare precedentemente alcuna trasformazione.

10 Come già accennato in Mauro, 2015, l'NDVI – Normalized Difference Vegetation Index è un indice di vegetazione molto usato nel Telerilevamento. Sfrutta la risposta spettrale della vegetazione nel rosso e nell'infrarosso applicando un algoritmo normalizzato che fornisce ai pixel un valore compreso fra -1 e 1 (cfr. Brivio *et alii*, 2006). Per un applicazione di tale indice in archeologia si può vedere, tra gli altri, Parcak, 2009; Corrie, 2011.

Nello specifico, l'utente deve dapprima 'creare una mappa': in termini concreti, ciò significa denominarla, individuare la posizione sulla quale desidera essa sia centrata, richiamando la località di riferimento (ad esempio, Caresana – Trieste), decidere se la cartografia risultante debba essere di pubblico dominio (oppure no) e salvare la mappa. L'operatore può inserire anche ulteriori dettagli sull'ortomosaico che sta realizzando. Tutte queste informazioni sono visibili in qualsiasi fase di trattamento delle immagini (figura 2A) nel menù che riporta i metadati ('About'). In un secondo momento, l'autore deve 'importare' le fotografiche acquisite dall'alto ritenute utili per la creazione dell'ortomosaico. La dimensione massima consentita è di 10 Megabyte. Le immagini selezionate vengono salvate sul *server* cartografico di MapKnitter (figura 2B).

Successivamente, l'utente può posizionare le singole immagini sulla base cartografica di riferimento, ossia quella di Google (Google satellite) o di OpenStreetMap. Con gli strumenti messi a disposizione (figura 3), l'utente può: 1) posizionare l'immagine al centro del punto di ripresa trascinandola con la modalità 'shift and drag'; 2) ruotare l'immagine secondo la direzione più corretta; 3) stirare l'immagine, selezionando gli angoli e trascinandoli sulla posizione più corretta, e usando la cartografia di base come riferimento; 4) controllare la corretta sovrapposizione della foto sulla cartografia, lavorando sull'opacità o sulla trasparenza; 5) bloccare le posizioni degli angoli una volta raggiunto un risultato soddisfacente.

Una volta che le immagini siano state correttamente posizionate, l'utente può esportare la cartografia realizzata. Le singole immagini vengono accostate in un unico prodotto finale; l'utente può definire la risoluzione spaziale finale dell'immagine (figura 4A). Una volta completata l'esportazione dell'ortomosaico, l'operatore può scegliere in quale formato acquisire il prodotto (figura 4B). Se inizialmente l'utente ha scelto di rendere pubblico il proprio lavoro, qualsiasi navigatore (senza essere per forza iscritto a MapKnitter) può 'scaricare' dalla rete il risultato.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 2
A) Metadati sull'ortomosaico;
B) alcune delle immagini inserite per la creazione dell'ortomosaico

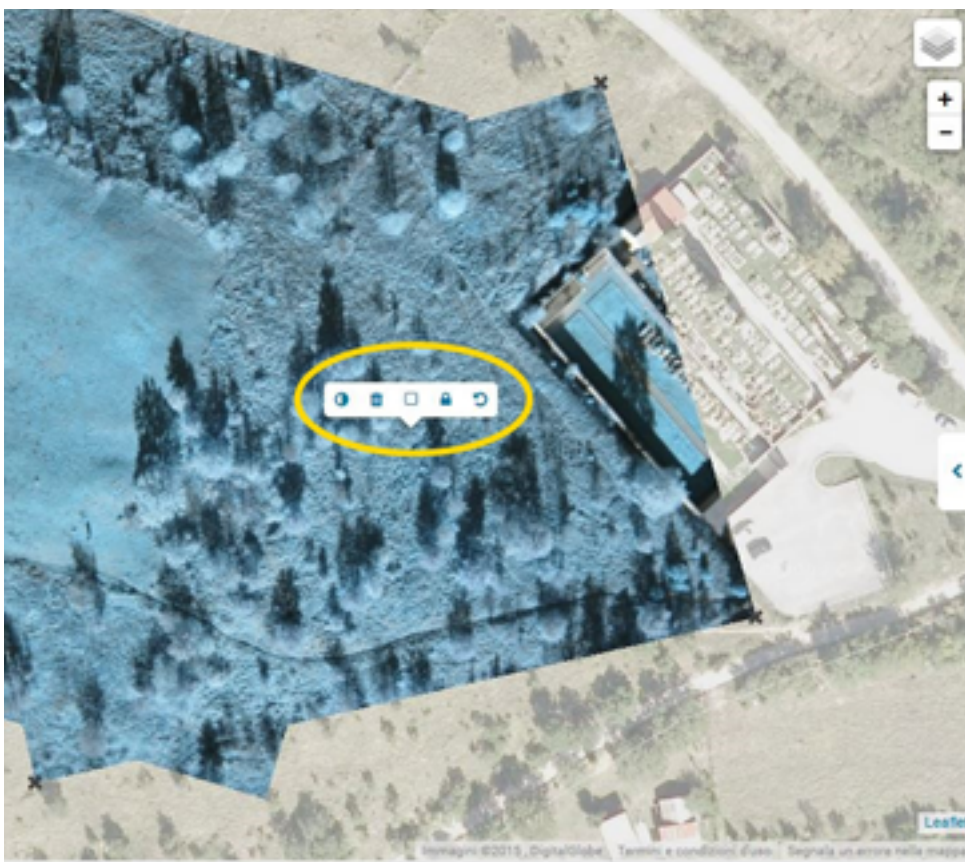



FIGURA 3
L'ambiente grafico di MapKnitter 2.0.
In alto a destra l'icona *multilayer* che permette di selezionare la cartografia di base (nel presente caso, Google satellite) e l'icona zoom. Al centro, gli strumenti per lavorare sulla singola immagine.
Da destra a sinistra:
1) strumento per ruotare l'immagine;
2) strumento per 'bloccare' le posizioni degli angoli, una volta raggiunto un risultato soddisfacente;
3) strumento per la sola visualizzazione dei bordi dell'immagine (trasparenza 100%);
4) strumento per eliminare l'immagine;
5) strumento per regolare l'opacità dell'immagine al 50%

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

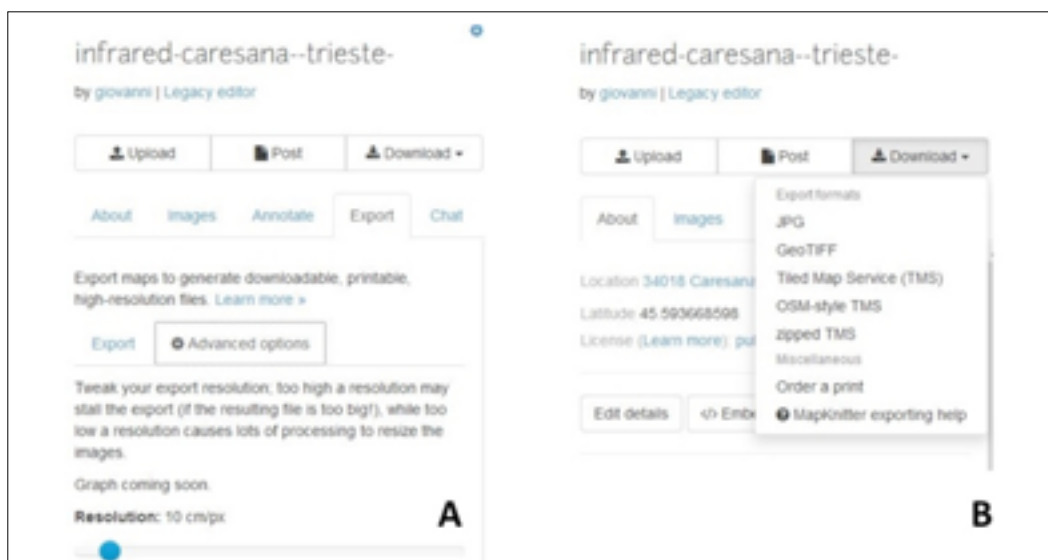



FIGURA 4 – A) il pannello per *l'export* dell'ortomosaico; B) i formati in cui l'utente può salvare il risultato

3. Gli ortomosaici dei castellieri di Caresana e San Polo

Vengono di seguito riportati i principali risultati realizzati con il programma MapKnitter e relativi ai due castellieri oggetto di studio. Tutte le cartografie realizzate hanno una risoluzione spaziale uniforme, ossia 10 cm/pixel, corrispondenti ad una scala di circa 1:500. Come sottolineato da Musson *et al.* (2005), "trovare la scala giusta" è uno dei problemi più rilevanti anche in funzione della scala finale a cui viene restituita graficamente la carta. Una rappresentazione a grandissima scala, come quella del presente caso, permette di documentare i dettagli minimi e di poter valutare (anche metricamente) tutti gli elementi contenuti nella carta. Tutte le carte sono inquadrate nel sistema di riferimento WGS84 (EPSG: 4326) e il formato prescelto per il salvataggio dei risultati è GeoTiff.

Cronologicamente, il primo ortomosaico realizzato è relativo al sito di Caresana (uscita di marzo 2014 – figura 5): si tratta di un'elaborazione fatta su quindici immagini acquisite con una fotocamera digitale Pentax 3, (cfr. per le specifiche tecniche relative alla macchina fotografica, Mauro, 2015). In questo caso il pallone aerostatico era posizionato ad un'altezza di circa cinquanta metri. La cartografia finale copre un'area abbastanza irregolare, è lunga circa 300m e larga circa 130m. Visto il numero elevato delle immagini che compongono la cartografia risultato e il loro originale grado di distorsione, fortemente condizionato dall'assenza di uno stabilizzatore per la fotocamera sul pallone, il prodotto finale non ha raggiunto un risultato soddisfacente da un punto di vista strettamente cartografico[11] .

Situazione analoga da un punto di vista cartografico è anche quella relativa al sito di San Polo. L'ortomosaico è il risultato di un'elaborazione di sole due immagini acquisite, come nel caso precedente, dalla fotocamera Pentax 3, montata sul pallone con staffa (quindi senza stabilizzatore). Il numero esiguo di immagini è dovuto al fatto che le foto raccolte sono molto oblique e ciò ostacola fortemente, come ricordato, le procedure di mosaicatura delle stesse. In figura 6 si può vedere il risultato ottenuto.

Le figure 7 e 8 riportano, invece, i due ortomosaici relativi al sito di Caresana, realizzati rispettivamente nel dicembre 2014 e nel marzo 2015, utilizzando la macchina fotografica Canon modificata per catturare l'in-

11 In un precedente contributo (Mauro, 2014) tale errore è stato stimato essere qualche metro (circa 3,5 m). La stima è stata realizzata con il programma MapAnalyst per definirne gli 'errori interni' (distorsione e rotazione), mediante l'identificazione di punti doppi sulla cartografia di riferimento (nel caso specifico, l'ortofotocarta del Friuli Venezia Giulia e la cartografia realizzata dal pallone aerostatico).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 5 – Castelliere di Caresana – Elaborazione su MapKnitter
(sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

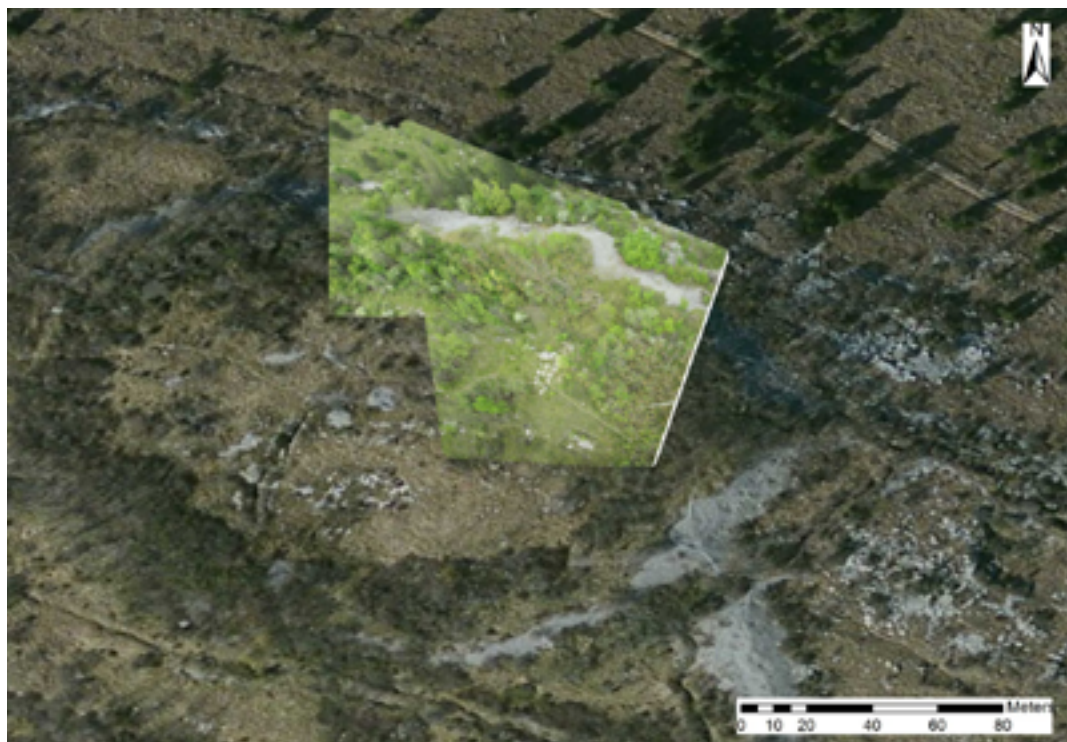



FIGURA 6 – Ortomosaico del castelliere di San Polo – Elaborazione su MapKnitter
(sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

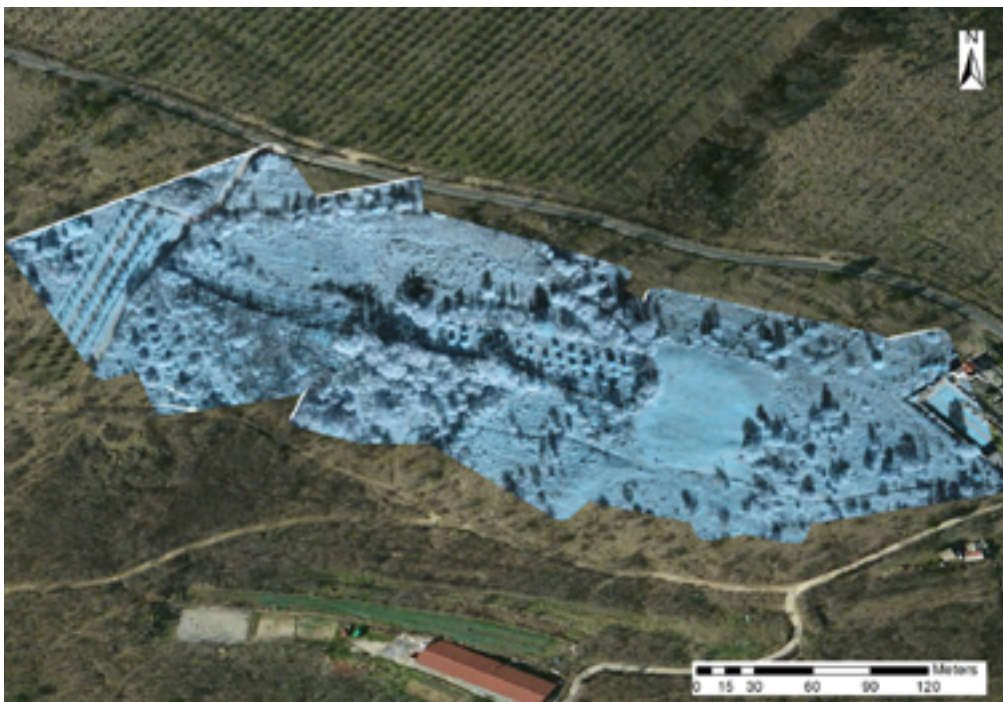



FIGURA 7 – Ortomosaico del castelliere di Caresana, realizzato con foto sensibili all'infrarosso vicino da fotocamera Canon su pallone aerostatico posizionato a circa 75m di altezza (sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

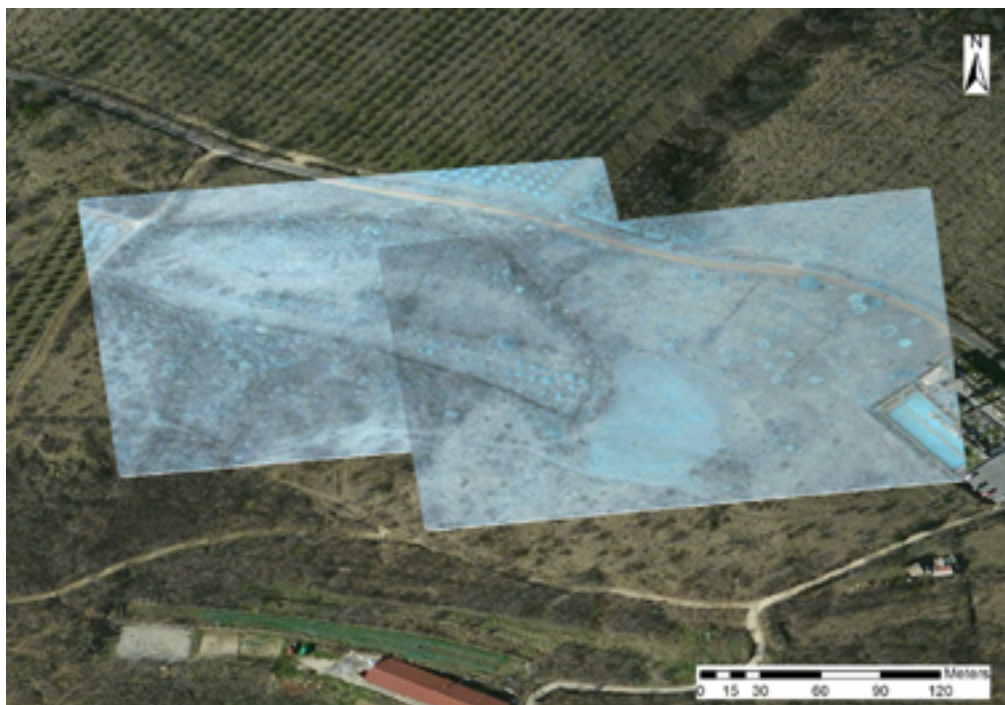



FIGURA 8 – Ortomosaico del castelliere di Caresana realizzato con foto sensibili all'infrarosso vicino da fotocamera Canon su pallone aerostatico posizionato a circa 100 m di altezza (sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

frarosso vicino. Come già ricordato da Mauro (2015), attraverso l'eliminazione del filtro per la luce infrarossa e l'inserimento di un filtro Wratten 25A per la selezione dell'infrarosso vicino (NIR – *Near InfraRed*), si ottiene che la macchina fotografica acquisisca dei fotogrammi con i seguenti tre strati:

– un canale totalmente infrarosso vicino (NIR puro), da noi visualizzato con il canale blu nelle due foto a falsi colori;
– un canale con predominanza di infrarosso vicino e un certo ammontare residuale di rosso (NIR + RED), da noi visualizzato con il canale verde nelle due foto a falsi colori;
– un canale con predominanza di rosso ed un certo ammontare residuale di infrarosso vicino (RED + NIR), da noi visualizzato con il canale rosso nelle due foto a falsi colori.

Poichè le fotografie sono state prese in un ambiente naturale con poche pietre affioranti e nessuna costruzione antropica, la predominanza della radiazione NIR, visualizzata con i canali blu e verde, sovrasta la componente rossa dell'immagine, conferendo in tal modo la predominanza blu alle foto, come si può osservare negli ortomosaici di figure 7 e 8.

Nell'uscita di dicembre 2014 la macchina fotografica è stata stabilizzata mediante il metodo della bottiglia di plastica mentre il pallone aerostatico è stato sollevato a circa 75 m di altezza. Per realizzare l'ortomosaico sono state utilizzate sei fotografie (meno della metà del caso di figura 5). In questo caso infatti le foto non erano affette da forte distorsione zenitale e il mosaico finale è risultato perciò decisamente migliore rispetto al caso precedente.

Nella successiva uscita di marzo 2015 il pallone aerostatico è stato sollevato a circa 100 m di altezza ed è stato usato il *picavet* come metodo di stabilizzazione della macchina fotografica. Come si vede dalla figura 8, in questo caso è stato sufficiente posizionare due fotografie in MapKnitter per coprire l'area oggetto di studio, garantendo di fatto una cartografia con un complessivo minore grado di distorsione[12].

I due ortomosaici delle figure 7 e 8 sono poi stati elaborati in modo da calcolare, per ogni pixel, l'indice di vegetazione NDVI. Quest'ultimo è stato calcolato utilizzando lo strato NIR puro e quello RED + NIR di ciascun ortomosaico, utilizzando la formula: NIR-RED/NIR+RED.

Il risultato è stato quindi un singolo strato (per ciascun ortomosaico), con una variabilità dei valori dei pixel compresa da -1 a +1 (assenza di vegetazione – valori negativi; vegetazione da pratense a forestale – valori positivi in progressivo incremento). I due strati dei valori dell'indice di vegetazione NDVI sono stati successivamente classificati in dieci classi di intervallo, utilizzando come algoritmo di classificazione quello dei quantili.[13] Le figure 9 e 10 mostrano rispettivamente gli strati NDVI classificati in dieci classi relative all'ortomosaico di Caresana di dicembre 2014 e quello di marzo 2015.

4. Individuazioni di eventuali anomalie della vegetazione per il sito di Caresana – Trmun

Prima di presentare i risultati relativi al sito di Caresana – Monte Trmun, si desidera riassumere brevemente le condizioni meteorologiche del sito nei due momenti delle riprese (effettuate il 12 dicembre 2014 e il 30 marzo 2015). In particolare, sono stati presi in considerazione i dati dell'Osservatorio meteorologico regionale del Friuli Venezia Giulia (OSMER FVG), relativi a precipitazioni, umidità e temperatura, per la stazione meteo di Muggia[14], la più vicina al sito. Il periodo per il quale sono stati regi-

12 L'obiettivo dell'analisi è l'identificazione di anomalie per la individuazione di eventuali siti archeologici. Per tale ragione, una ridotta distorsione delle immagini selezionate (acquisite con un sistema di sospensione della fotocamera utile a tale fine) non compromette il fine ultimo della ricerca. Proprio per questo motivo non sono state condotte analisi approfondite sugli 'errori interni' sull'ortomosaico di Caresana.

13 Come è noto tale algoritmo prevede la suddivisione della distribuzione dei dati in classi con medesima frequenza. Nel caso specifico il 10%.

14 Le altre stazioni meteo più vicine afferenti, alla rete "OSMER FVG" sono: Trieste (molo Bandiera), Borgo Grotta Gigante e Sgonico. La prima è posizionata sul mare, le altre due nel Carso interno (entrambe quindi poco simili meteorologicamente a Caresana). Si è optato di considerare i dati di Muggia in quanto essa è la stazione più prossima ed è localizzata a 35 m s/m (un centinaio di metri più in basso rispetto al Monte Trmun, che è a 157 m s/m).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

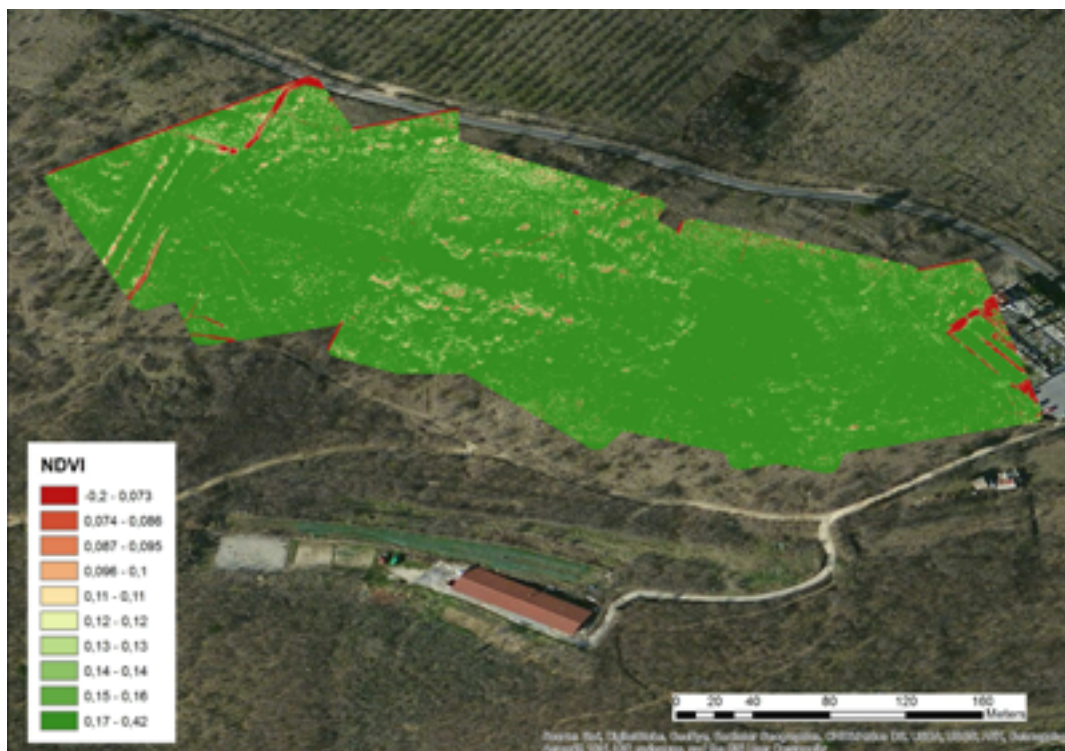



FIGURA 9 – NDVI classificato 12 dicembre 2014 (algoritmo di classificazione: quantili; 10 classi)
(sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

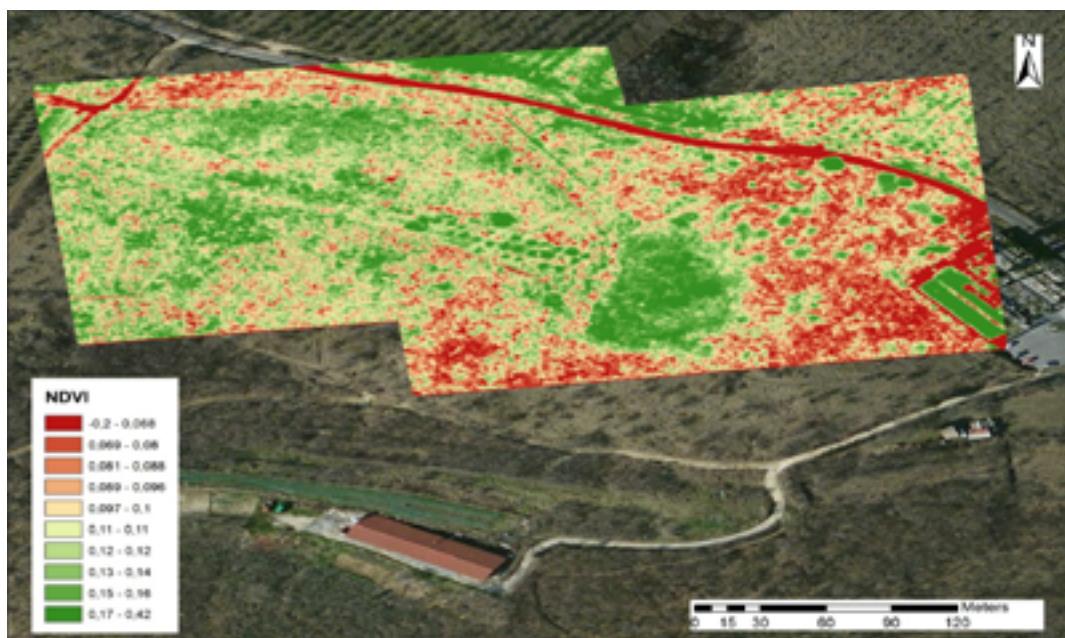



FIGURA 10 – NDVI classificato 30 marzo 2015 (algoritmo di classificazione: quantili; 10 classi)
(sullo sfondo la base telerilevata fornita da ESRI)

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

strati i dati è stato, in entrambi i casi, il mese precedente la data dell'uscita (rispettivamente: 12 novembre – 12 dicembre e 28 febbraio – 30 marzo).

Pur nelle limitazioni legate alla distanza e all'influenza del mare (la cittadina di Muggia è posta sul mare ad una distanza di quasi 6 km in linea d'aria da Caresana, che invece si trova in prossimità dell'altipiano carsico), la conoscenza delle diverse condizioni meteo, come si vedrà, è stata utile per capire alcune differenze, riscontrate nelle condizioni dei prati alle due date.

In sintesi:

- dicembre 2014: temperatura non troppo rigida, considerata la stagione (da circa 15° di novembre ai 9° del 12 dicembre); precipitazioni abbondanti circa dieci giorni prima la data dell'uscita; umidità elevata tutto il mese, anche se in calo il giorno dell'uscita;
- marzo 2015: temperatura leggermente più rigida, non nel giorno di acquisizione ma durante tutto il mese precedente (siamo alla fine dell'inverno); precipitazioni di una certa consistenza circa cinque giorni prima la data dell'uscita; umidità molto più bassa, sia nel giorno dell'uscita che in tutto il mese precedente.

L'analisi delle figure 7, 8, 9, 10 ha permesso di derivare le seguenti ipotesi riguardo ad eventuali *crop mark* in loco:

- osservando i due ortomosaici di figure 7 e 8, ovvero le fotografie a falsi colori con predominanza delle tonalità del blu, appaiono evidenti in ambedue, sulla cima erbosa del monte, uno spiazzo appena delimitato dal rialzo del terreno, che potrebbe indicare un'antica cinta muraria. Tale spiazzo è visibile in entrambe le figure. Nella figura 7, essendo l'ortomosaico non perfettamente ortogonale al terreno, data la minor efficacia dello stabilizzatore usato per la fotocamera (bottiglia di plastica), rispetto al più evoluto *picavet*, il gioco della luce sul rialzo del terreno evidenzia in modo particolare quest'ultimo (specialmente nella parte superiore dello spiazzo – si consideri a tal riguardo anche l'effetto della bassa altezza del sole sull'orizzonte, visto che la stagione della ripresa era dicembre). Nella figura 8, invece, lo spiazzo si palesa evidente per la differenza della copertura vegetale in loco;
- osservando i due ortomosaici relativi all'indice di vegetazione NDVI (figure 9 e 10), si può notare una situazione vegetazionale sensibilmente diversa (soprattutto per i prati) nei due casi. Nel dicembre 2014 il prato appare decisamente più rigoglioso (è infatti quasi del tutto ricompreso nelle due classi più elevate dell'indice) e tale fatto condiziona fortemente la visibilità del presunto sito archeologico. Nel marzo 2015 la situazione è decisamente diversa e l'intera area dell'ortomosaico è maggiormente precisa per ciò che riguarda le diverse tipologie di vegetazione presenti. Ciò permette di riconoscere abbastanza facilmente l'area circolare sulla zona sommitale del monte, che già nel caso delle immagini a falsi colori era stata notata. Il motivo di questa differente condizione dei prati va ricondotto alla diversa umidità del sito alle due date. L'umidità più bassa di marzo, unita al fatto che l'inverno ha rallentato l'attività vegetativa delle piante (rispetto ad una situazione maggiormente umida in dicembre, alla fine di un autunno generalmente piovoso), molto probabilmente condiziona sensibilmente le condizioni dell'indice di vegetazione in loco.

Sulla base delle considerazioni fatte, si propone infine un'ipotesi per la localizzazione di una delle cinte murarie del castelliere di Monte Trmun. Il file vettoriale di figura 11, in sovraimpressione all'ortomosaico di figura 10 (reso parzialmente trasparente per motivi grafici), presenta la restituzione grafica di tale ipotesi.

Si desidera precisare, in riferimento alla citata scala dell'ortomosaico (1:500, cfr. par. 3), dipendente da fatti tecnici legati alla ripresa (altezza della fotocamera ed lunghezza focale dell'obiettivo), che la posizione del *layer* vettoriale, relativo all'ipotesi formulata, non può essere considerata tanto precisa quanto la scala suggerirebbe. Si è volutamente parlato di restituzione grafica e non cartografica, per non correre il pericolo di fraintendimenti.

5. Conclusioni

In questa nota sono stati presentati i primi risultati delle riprese da pallone aerostatico in alcuni siti ove fonti bibliografiche specializzate suggeriscono l'esistenza di

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

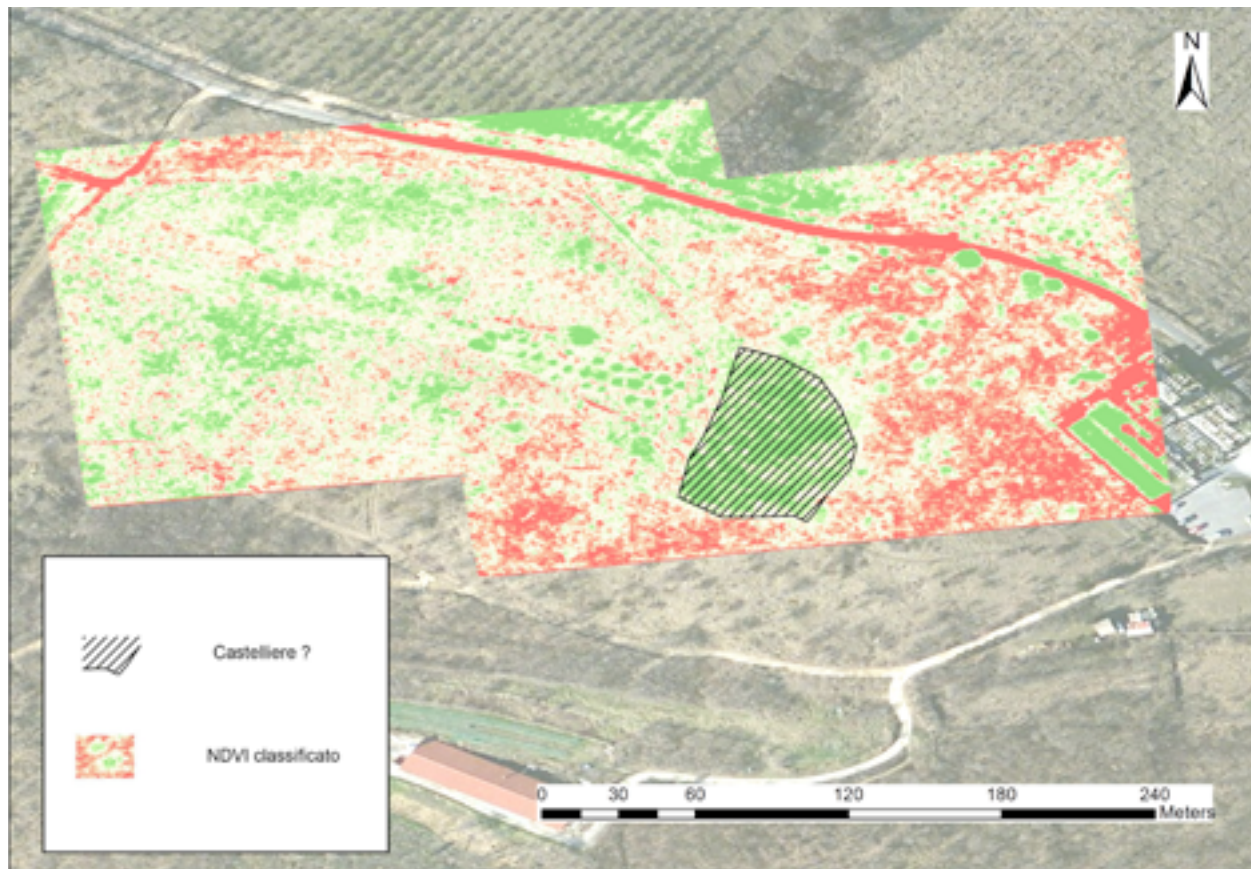



FIGURA 11 – Restituzione grafica dell'ipotesi di localizzazione della cinta muraria in sovraimpressione all'ortomosaico di figura 10 (in trasparenza al 40%)

resti di castellieri nella Provincia di Trieste. Si è voluto riprendere siti già segnalati per poter operare un primo controllo di strumenti software disponibili in rete e facenti capo alla tecnologia cosiddetta BM[15], essendo le riprese aeree una tecnica ampiamente sperimentata in campo archeologico. Il BM, infatti, si è recentemente diffuso (soprattutto nel campo della tutela ambientale), grazie alla sua relativa economicità (almeno per ciò che riguarda la struttura), e allo sviluppo dei software liberi, sia in modalità tradizionale (scaricamento ed installazione dalla rete), sia in modalità *cloud computing* (utilizzo di un software residente in remoto tramite applicazioni via Web).

Nel corso di circa diciotto mesi di lavoro i miglioramenti progressivamente adottati sul campo sono stati numerosi e hanno permesso di raggiungere i risultati desiderati. I principali progressi sono stati relativi a: la sicurezza del vettore (scelta di utilizzare almeno due fili molto resistenti per trattenere e guidare il pallone); le modalità di sospensione della fotocamera (dalla staffa rigida al *picavet*); l'altezza di ripresa (da 50m a circa 100m) per avere un minor numero di fotogrammi da georiferire ed accostare; la tipologia di fotocamera (da

15 Anche se di primo acchito questa tecnologia può sembrare obsoleta e datata, essa in realtà presenta alcuni vantaggi rispetto all'utilizzo di un drone, i cui costi rimangono significativamente alquanto elevati soprattutto se l'indagine in campo viene eseguita con UAV (Unmanned Aerial Vehicles – Veicoli a controllo remoto) secondo le direttive della normativa vigente (si veda Mauro, 2015).

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

una normale digitale ad una camera maggiormente sensibile allo spettro infrarossi), per acquisire dati inerenti lo stato della vegetazione.

Le fotografie ottenute in questo periodo di lavoro sono state selezionate ed elaborate, in modo da ottenere dei mosaici di immagini georiferite. Questi ultimi sono stati ulteriormente elaborati (calcolo di un indice della vegetazione, utilizzando fotografie sensibili all'infrarosso vicino), per ottenere indicazioni su eventuali discontinuità della copertura vegetale (*crop mark*), potenziali segnali di antichi resti ipogei.

I risultati ottenuti, in special modo per il sito di Monte Trmun presso Caresana, in Provincia di Trieste, sono stati incoraggianti. Malgrado tutti i limiti della tecnologia BM, da considerarsi comunque sperimentale, la possibilità di utilizzarla nelle condizioni meteo che si ritengano migliori (con costi comunque abbastanza contenuti), ha permesso di acquisire immagini in un momento vegetativo alquanto propizio. Nel caso specifico è stata evidenziata la possibile presenza di un *crop mark* positivo in un sito già segnalato in bibliografia. Ovviamente, l'analisi dei risultati non può prescindere da una contemporanea analisi delle condizioni meteo vigenti (nel caso specifico il mese precedente all'uscita in campo) e, ovviamente, della geologia del sito prescelto (nel caso del sito di Caresana, suoli poco profondi su un substrato prevalentemente calcareo, tipico del paesaggio carsico).

L'esito positivo della ricerca condotta incoraggia a proseguire con la sperimentazione in atto, sia nel sito stesso (magari in condizioni di diversa umidità del suolo, della luce o del piano della fotografia rispetto al piano del terreno), sia in altri siti (segnalati e non).

Per quanto riguarda infine il sito del Monte Trmun, si pensa che un'indagine di campo condotta con moderni criteri stratigrafici potrebbe dare una risposta definitiva alle ipotesi fatte (e alle eventuali ipotesi future, frutto di ulteriori riprese dall'alto). Tuttavia, non potendo procedere, almeno per ora, con scavi sistematici in proprietà privata, l'ipotesi che sembrerebbe più attuabile sarebbe quella di procedere con indagini georadar (Boschi, 2009) alquanto puntuali.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

BENNET J. (2010), *OpenStreetMap. Be your own Cartographer*, Packt Publishing, Birmingham.

BERNARDINI F., SGAMBATI A., MONTAGNARI KOKELJ M., ZACCARIA C., MICHELI R., FRAGIACOMO A., TIUSSI C., DREOSSI D., TUNIZ C., DE MIN A. (2013), "Airborne LiDAR application to karstic areas: the example of Trieste province (north-eastern Italy) from prehistoric sites to Roman forts", *Journal of Archaeological Science*, 40 (2013), pp. 2152-2160 [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312005547].

BERNARDINI F., VINCI G., HORVAT J., DE MIN A., FORTE E., FURLANI S., LENAZ D., PIPAN M., ZHAO W., SGAMBATI A., POTLECA M., MICHELI R., FRAGIACOMO A., TUNIZ C. (2015), "Early Roman military fortifications and the origin of Trieste, Italy", *PNAS*, March 31, 2015 vol. 112 no. 13 [http://www.pnas.org/content/112/13/E1520].

BERTANI M. (2004), *Guida alle licenze di software libero e open source*, Nyberg, Milano.

BETIC A., BERNARDINI F., MONTAGNARI KOKELJ E. (2008), *I castellieri di Trieste fra Carso e mare*, in: AURIEMMA R., KARINJA S. (a cura di), *Terre di mare, Progetto Interreg IIIA Italia-Slovenia Alto Adriatico*, Trieste.

BOSCHI F. (2009), *Introduzione alla geofisica per l'archeologia*, in E. GIORGI (ed.): *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Groma, 2, Bologna, pp. 291-315.

BRIVIO P.A., LECHI G., ZILIOLI E. (2006), *Principi e metodi del Telerilevamento*, Città Studi Ed., Torino.

CERAUDO G. (2004), *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2004)*, in CERAUDO G.e PICCARRETA F. (a cura di), *Archeologia Aerea. Studi di Aerotopografia archeologica*, Libreria dello Stato. Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 47-68.

CHAPMAN H. (2006), *Landscape Archaeology and GIS*, The History Press Ltd, Stroud.

CONOLLY J., LAKE M. (2006), *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.

CORRIE R. K. (2011), *Detection of ancient Egyptian archaeological sites using satellite remote sensing and digital image processing, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications II,* edited by ULRICH MICHEL, DANIEL L. CIVCO, Proc. of SPIE Vol. 8181, 81811B-1.

FAVRETTO A., (2009), *I mappamondi virtuali. Uno strumento per la didattica della Geografia e della Cartografia*, Patron, Bologna.

FAVRETTO A., MAURO G. (2015), Analisi esplorative delle preferenze dei visitatori di una manifestazione culturale in uno spazio urbano utilizzando il Balloon mapping e la statistica spaziale. Il caso di Trieste Next, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 7-19, http://hdl.handle.net/10077/11652.

FLEGO S., RUPEL L. (1993), *I Castellieri della Provincia di Trieste*, Editoriale Stampa Triestina, Trieste.

GOODCHILD M. (2007), "Citizens as Sensors: the World of Volunteered Geography", *GeoJournal* 69.

GOODCHILD, M.F. (2008), "The use cases of digital earth", *International Journal of Digital Earth*, 1: 1, 31-42.

MARCHESETTI C. (1903), *I Castellieri preistorici di Trieste e della regione Giulia*, Trieste, Editore il Museo civico di Storia naturale.

MASTROIANNI D. (2014), "*Bing Maps*, aerofotointerpretazione archeologica online. La visione panoramica 'made in Microsoft' ", *Archomatica*, Anno V. n. 4, pp 10-15.

MAURO G. (2014), "Strumenti per una cartografia 'attiva': il *balloon mapping*. Limiti e potenzialità in un progetto di ricerca a Trieste", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, Trieste, 151, pp. 4-16, http://hdl.handle.net/10077/10371.

MAURO G. (2015), "*Balloon Mapping* come metodologia low-cost per ricerche geografiche e archeologiche",

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, 155, pp. 20-35, http://hdl.handle.net/10077/11790.

Mell P., Grance T. (2011), *The NIST Definition of Cloud Computing. NIST – National Institute of Standards and Technology*, US Department of Commerce.

Montagnari Kokelj E. (1989), *Il Carso goriziano tra Protostoria e Storia. Da Castellazzo a San Polo*, Gorizia (Provincia di Gorizia).

Montagnari Kokelj E. (2001), "Gorizia e la valle dell'Isonzo: dalla preistoria al medioevo", *Monografie Goriziane*, 1. [CD allegato], Gorizia (Provincia di Gorizia).

Montagnari Kokelj E. (2005), *Carlo Marchesetti e i castellieri 1903-2003*, Editreg, Trieste.

Musson C. (2005), *In volo nel passato*, in Musson C., Palmer R., Campana S., *In volo nel passato. Aerofotografia e Cartografia archeologica*, All'Insegna del Giglio, Firenze.

Musson C., Palmer R., Campana S. (2005), *In volo nel passato, Aerofotografia e cartografia archeologica,* All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 146-150.

Parcak S.H. (2009), *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, Routledge, New York, pp. 92-94.

Ramm F., Topf J., Chilton S. (2011), *Open Street Map. Using and Enhancing the Free Map of the World*, UIT, Cambridge.

Sui D., Goodchild M., Elwood S. (2013), "Volunteered Geographic Information, the Exaflood, and the Growing Digital Divide", in *Crowdsourcing Geographic Knowledge Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*, a cura di Sui D., Elwood S., Goodchild M., Springer.

Wheatley D. (2002). *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*, Taylor & Francis, London.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA 2015 (155), 52-55

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

DOI: 10.13137/2282-472X/11825

Balloon Mapping, droni e archeologia: casi studio in Friuli Venezia Giulia (NE Italia)

Balloon Mapping, drones and archaeology: case studies in Friuli Venezia Giulia (NE of Italy)

MANUELA MONTAGNARI KOKELJ

Dipartimento di Studi Umanistici – Università di Trieste

Una frase dell'articolo *Il Balloon Mapping per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino* sintetizza bene, a mio avviso, il possibile rapporto fra il metodo di mappatura da pallone aerostatico e l'archeologia: *Naturalmente si considera tale procedura complementare alle analisi archeologiche tradizionali, da impiegare preliminarmente ad esse, in quanto meno costosa ed impattante, sia parallelamente e posteriormente ad esse, in modo da evidenziare eventuali ulteriori zone da scavare* (Favretto *et al.*, 2015, p. 38). Qui il riferimento è principalmente all'archeologia di campo, intesa sia come *survey*, indagine di superficie, sia come scavo sistematico, che sono parti integranti dello studio di un territorio, ma non lo esauriscono.

Lo studio di un territorio esemplifica pienamente, infatti, quello che dovrebbe essere il *modus operandi* dell'archeologia, ossia la costante combinazione di scoperte di campo, metodi e tecniche d'indagine, e teoria, come sintesi di modelli interpretativi già elaborati e nuove idee e ipotesi[1]. Nel caso specifico, il rimando teorico è soprattutto alla *Landscape Archaeology*, l'archeologia dei paesaggi, il cui obiettivo è la ricostruzione, in base a fonti e metodologie diverse, delle forme di interazione fra gruppi umani e ambiente naturale nei diversi periodi storici e nella loro stratificazione[2]. Ricostruzione diacronica, quindi, necessariamente pluridisciplinare e interdisciplinare, come hanno dimostrato studi relativamente recenti condotti a livello regionale e al contempo transnazionale, quali la *Carta archeologica della valle dell'Isonzo e dei suoi affluenti*, realizzata nell'ambito del programma comunitario Interreg II Italia-Slovenia 1994-2000 (v. Montagnari Kokelj, 2001), e i due progetti Interreg IIIA Italia-Slovenia 2000-2006 *Tra Natisone e Isonzo: storia e archeologia di un territorio* (v. Chiabà *et al.*, 2007) e *AltoAdriatico* (v. Auriemma e Karinja, 2008)[3].

Questi studi hanno costituito precedenti specifici di riferimento per il progetto FRA 2012 coordinato da chi scrive – *Tra Carso e Isonzo. Geoarcheologia di un territorio per lo studio delle dinamiche di interazione fra uomo e ambiente nell'antichità* – e lo sono indirettamente anche per il progetto FRA 2014 coordinato da Andrea Favretto, *Cartografia su immagini telerilevate ad alta risoluzione spaziale. Utilizzo e comparazione di*

1 Nell'importante volume *Archaeology: theories, methods and practice* questo concetto è spiegato subito all'inizio del capitolo dedicato alla storia delle ricerche e degli studi (Renfrew, Bahn, 2004, p. 21), per essere poi ampiamente sviluppato.

2 La letteratura su questo tema è amplissima: per capirne i concetti chiave può essere utile leggere la scheda sintetica prodotta da Matthew Johnson (2005), che due anni dopo pubblicherà un libro sull'argomento.

3 Tutti questi progetti sono stati coordinati da studiosi dell'allora Dipartimento di Scienze dell'Antichità (ora Dipartimento di Studi Umanistici) dell'Università di Trieste, e sono stati caratterizzati da pluridisciplinarità e interdisciplinarità intra- ed extra-ateneo, grazie alla partecipazione di colleghi italiani e stranieri.

strumenti eterogenei per la rilevazione di dettaglio per siti archeologici, attualmente *in progress*.

Tra Carso e Isonzo mirava a ricostruire il paesaggio antico in un territorio particolarmente adatto ad analizzare in che misura fattori naturali, in particolare le deviazioni del corso di uno dei principali fiumi della regione, avessero inciso su fattori antropici, sulle dinamiche insediative, sulla viabilità e sui sistemi di scambio/commercio tra mare, pianura, Carso ed entroterra. L'apporto di specialisti di ambiti diversi – geografia fisica e geomorfologia, archeologia preistorica e archeometria, storia e archeologia romana e topografia antica – è stato chiaramente imprescindibile in tutte le fasi di svolgimento del progetto: raccolta dei dati bibliografici, d'archivio, delle fotografie aeree e da satellite; analisi delle stesse e dei DEM; sopralluoghi sul terreno con esecuzione di carotaggi con sonda a mano; successive mirate prospezioni geo-archeologiche di superficie; raccolta di campioni per le analisi archeometriche. Fasi concluse da uno studio interpretativo in cui tutti i dati acquisiti sono stati messi a confronto e integrati[4].

Come previsto, nel corso del progetto *Tra Carso e Isonzo* sono stati eseguiti anche alcuni test di acquisizione d'immagini con un drone DJI, in dotazione al gruppo di ricerca, su due castellieri localizzati sulle prime falde sudoccidentali del Carso isontino. In più, alle attività svolte nell'area di studio si sono aggiunte alcune uscite in località Caresana (San Dorligo della Valle-Dolina, Trieste), su un'altura sede di un presunto castelliere protostorico, per esaminare in parallelo le potenzialità del drone DJI e del pallone aereostatico oggetto di sperimentazione nell'ambito del progetto FRA 2012 *"Balloon Mapping" e archeologia: verifiche metodologiche nell'applicazione della tecnologia in ambito GIS*, coordinato da Andrea Favretto.

Quest'attività congiunta costituisce in certa misura il *trait d'union* fra i progetti FRA 2012 e 2014 coordinati da docenti del Dipartimento di Studi Umanistici, ma già a carattere interdipartimentale nel caso di *Tra Carso e Isonzo*, e di nuovo nello studio in corso[5]. Penso che i progetti citati siano esempi importanti di come interessi scientifici diversi possano convergere su tematiche di ricerca comuni. Se, infatti, il principale obiettivo del FRA 2014 *Cartografia su immagini telerilevate... per siti archeologici* è quello di valutare comparativamente i risultati dei diversi metodi di telerilevamento utilizzati, ossia le immagini della macchina fotografica trasportata dal drone e quelle della macchina fotografica trasportata dal pallone areostatico[6], l'obiettivo correlato riguarda la verifica della reale utilità di entrambi per il riconoscimento di evidenze archeologiche in zone del territorio dove dati pregressi hanno evidenziato specifiche problematiche da approfondire. Dato che una delle potenzialità del *Balloon Mapping* emersa dal precedente studio riguarda il monitoraggio "in continuo" mediante video o riprese aeree a intervalli ravvicinati per un tempo molto più lungo rispetto a quello dei droni, sono state scelte come casi studio aree marine o prossimo-marine soggette a forti escursioni di maree, da indagare nelle condizioni più favorevoli di bassa marea. Oggetto di studio saranno, dunque, la Laguna di Marano (Udine) – con dati scarsi per i periodi antecedenti l'età romana, durante la quale, invece, si sarebbe sviluppato un articolato sistema insediativo –, e il comprensorio litoraneo con sbocco a mare dei torrenti Ospo e Rosandra (Muggia, Trieste), che con l'entroterra costituì un'area di forte attrazione per l'uomo dalla preistoria in avanti, attrazione dovuta, fra l'altro, alle condizioni ideali per la formazione naturale del sale, sfruttata a livello di produzione "industriale" nelle saline documentate già in epoca romana (sul tema v. da ultimo Montagnari Kokelj *et al.*, 2015, con bibliografia precedente).

Per concludere, vorrei mettere in evidenza altri aspetti rilevanti che possono assumere le attività di ri-

4 A fine progetto tutti i dati sono stati archiviati in modo provvisorio in attesa del riversamento definitivo sul sito di destinazione – http://siticar.units.it – al tempo in fase di manutenzione; i risultati delle analisi archeometriche su materiali litici protostorici sono confluiti in un articolo dedicato (Bernardini *et al.*, 2015), mentre il lavoro congiunto di archeologi e geologi è stato presentato a Eurogeo Conference 2014 (Zavagno *et al.*, 2014).

5 La collaborazione in atto da molti anni è soprattutto con colleghi dell'ex-Dipartimento di Scienze Geologiche, ora Dipartimento di Matematica e Geoscienze.

6 In considerazione dei risultati molto interessanti ottenuti recentemente nella stessa area di studio del FRA 2014 con un'altra tecnica di telerilevamento, il LiDAR – Light Detection and Ranging (Bernardini *et al.*, 2013), non ne è escluso *a priori* un uso a fini comparativi.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

cerca di cui ho detto finora: di fatto, oltre a risultati scientifici importanti, queste possono avere ricadute significative sia sempre all'interno dell'ambito accademico, per la didattica universitaria e post-universitaria[7], sia all'esterno, per la raccolta di dati utili a fini di pianificazione dell'uso di spazi pubblici (Favretto e Mauro, 2015) e, in prospettiva, di pianificazione territoriale, tutela e conservazione in zone di interesse archeologico.

7 Mi riferisco specificamente al corso di *GIS e telerilevamento per i beni archeologici*, tenuto da Andrea Favretto e Giovanni Mauro nell'a.a. 2014-2015 per la Scuola Interateneo di Specializzazione in Beni Archeologici.

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

AURIEMMA R., KARINJA S., a cura di (2008), *Terre di Mare. L'archeologia dei paesaggi costieri e le variazioni climatiche*, Atti del Convegno Internazionale di Studi, Trieste, 8-10 novembre 2007, Arti Grafiche Friulane/Imoco spa, Udine [2a ed. 2012, Luglio Editore, Trieste].

BERNARDINI F., SGAMBATI A., MONTAGNARI KOKELJ M., ZACCARIA C., MICHELI R., FRAGIACOMO A., TIUSSI C., DREOSSI D., TUNIZ C., DE MIN A. (2013), "Airborne LiDAR application to karstic areas: the example of Trieste province (north-eastern Italy) from prehistoric sites to Roman forts", *Journal of Archaeological Science* 40, pp. 2152-2160.

BERNARDINI F., DE MIN A., LENAZ. D., MENDOZA CUEVAS A., NUVIADENU C.K., TUNIZ C., MONTAGNARI KOKELJ M. (2015), "Whetstones from Bronze Age hillforts of north eastern Italy", *Archaeometry* 57, pp. 36-53.

CHIABÀ M., MAGGI P., MAGRINI C., a cura di (2007), "Le Valli del Natisone e dell'Isonzo tra Centro-Europa e Adriatico", Atti del convegno internazionale di studi, San Pietro al Natisone (Udine), 15-16 settembre 2006, *Studi e ricerche sulla Gallia Cisalpina* 20, pp. 27-42, Quasar, Pasian di Prato (Udine).

FAVRETTO A., MAURO G. (2015), "Analisi esplorative delle preferenze dei visitatori di una manifestazione culturale in uno spazio urbano utilizzando il Balloon mapping e la statistica spaziale. Il caso di Trieste Next", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia* 155, pp. 7-19, http://hdl.handle.net/10077/11652.

FAVRETTO A., MAURO G., ZACCARIA C. (2015), Il Balloon Mapping per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino/Balloon mapping for the study of two "castellieri" in Trieste and Gorizia provinces, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 35-50, http://hdl.handle.net/10077/11791.

JOHNSON M. (2005), Thinking about landscape, in Renfrew C., Bahn P., eds., Archaeology. The key concepts, pp. 156-159, Routledge.

JOHNSON M. (2007), *Ideas of landscape*, Blackwell Publishing.

MONTAGNARI KOKELJ M., a cura di (2001), "Gorizia e la valle dell'Isonzo: dalla preistoria al medioevo", *Monografie Goriziane* 1 [CD allegato], Provincia di Gorizia, Gorizia.

MONTAGNARI KOKELJ M., BERNARDINI F., DE MIN A., LENAZ D., TUNIZ C., VELUŠČEK A. (2015), "Il sale nel Caput Adriae (Adriatico nord-orientale): dati, ipotesi, prospettive di approfondimento", in *Preistoria del cibo. L'alimentazione nella preistoria e nella protostoria*, Atti della 50ma Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Roma, 5-9 ottobre 2015, http://www.preistoriadelcibo.it/sessione3.html

RENFREW C., BAHN P., eds. (2004), *Archaeology: theories, methods and practice*, Thames & Hudson [4th edition].

ZAVAGNO E., MONTAGNARI KOKELJ M., VERZAR M., ORIOLO F., MAGGI P., BOSCAROL C., FURLANI S., CUCCHI F. 2014, "Geoarchaeological characterization of the Eastern Isonzo Plain", in *The power of geography and the role of spatial information, Eurogeo Conference 2014*, 15-17 May 2014, Valletta, Malta [poster].

ISSN 2282-472X (online)
ISSN 0044-9733 (print)